Niveau(x) d'enseignement: 7 Numéro EDUQ : 9570648
Centre d'intérêt: 874

Hudon, Richard.

Voir l'invisible en éducation : environnement pédagogique informatisé pour la "visualisation" de systèmes techno-scientifiques / Richard Hudon. -- Saint-Hyacinthe : Collège de Saint-Hyacinthe, 1995.
148 p. : ill. (certaines en coul.) ; 28 cm.

"Cette recherche a été subventionnée par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la science dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage". Résumé au début du v. Code: 1532-0522. Bibliogr.: p. 117-128.

ISBN 2-9804512-0-7

Vedette(s)-secondaire(s): Collège de Saint-Hyacinthe

Descripteur(s): Techniques physiques * Application pédagogique de l'ordinateur * Didactique * Concept * Technologie * Laboratoire * Approche systémique * Robotique * Résolution de problème * Simulation * Questionnaire * Collégial (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Réfrigération * Environnement pédagogique informatisé * Visualisation

Cette recherche-développement vise l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage d'un processus technique complexe par la conception et la construction d'un environnement didactique. Cet environnement facilitera, préalablement, l'appropriation des outils cognitifs nécessaires à la compréhension de ce processus technique. L'auteur a choisi pour cette application un système de réfrigération. La recherche a consisté à développer un environnement didactique informatisé susceptible de faciliter la "visualisation" iconique et graphique des variables de ce processus et de leurs interactions. L'analyse des résultats de la mise à l'essai empirique amène à constater que cet environnement permet à l'élève d'appréhender le fonctionnement du système dans son ensemble et favorise l'acquisition des concepts, règles et lois à partir des observations faites grâce à cet environnement. Questionnaires aux annexes 2 et 3.

VOIR L'INVISIBLE EN ÉDUCATION

Environnement pédagogique informatisé pour la "visualisation" de systèmes techno-scientifiques

Richard Hudon
Cégep de Saint-Hyacinthe

95-70648

VOIR L'INVISIBLE EN ÉDUCATION

Environnement pédagogique informatisé pour la "visualisation" de systèmes techno-scientifiques

Richard Hudon Ph.D.

Cégep de Saint-Hyacinthe

Cette recherche a été subventionnée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage.

Le présent rapport n'engage que la responsabilité du collège et de son auteur.

VOIR L'INVISIBLE EN ÉDUCATION:
Environnement pédagogique informatisé pour la "visualisation"de systèmes techno-scientifiques
Richard Hudon Ph.D.
Cégep de Saint-Hyacinthe, 1995
ISBN2-9804512-0-7
Code de diffusion:1532-0522
Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec, 1995
Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Canada, 1995

On peut obtenir des exemplaires supplémentaires de ce rapport de recherche auprès de l'auteur au Collège de Saint-Hyacinthe, 3000, rue Boullé, Saint-Hyacinthe (Québec), J2S 1H9.
Tel. (514) 773-6800, poste 246.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre très grande reconnaissance à Monsieur Pierre Nonnon, responsable du laboratoire de robotique pédagogique de l'université de Montréal, pour son assistance constante et ses conseils éclairés qui ont permis de mener à bien cette recherche. Il nous a permis, avec sa grande générosité, de partager ses connaissances et son goût de la recherche.

Nous désirons également remercier Madame Marthe Langlois, Monsieur Daniel Cervera et Monsieur Marcel Girouard pour la lecture du manuscrit et pour leurs critiques constructives.

Nous remercions aussi les enseignants et élèves du Cégep de St-Hyacinthe qui ont bien voulu participer aux mises à l'essai.

Nous remercions le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science pour l' appui accordé à la réalisation de ce projet par la libération accordée à l'auteur dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA) de la Direction générale de l'enseignement collégial.

RÉSUMÉ

Cette recherche-développement vise l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage d'un processus technique complexe par la conception et la construction d'un environnement didactique. Cet environnement facilitera, préalablement, l'appropriation des outils cognitifs nécessaires à la compréhension de ce processus technique. Nous avons choisi pour cette application un système de réfrigération. Son cycle est constitué de variables dont la seule observation visuelle ne permet pas de saisir les interactions. Nous qualifierons ainsi le phénomène de non "visualisable". La recherche a donc consisté à développer cet environnement didactique informatisé susceptible de faciliter la "visualisation" icônique et graphique des variables de ce processus et de leurs interactions. Nous avons d'abord construit un prototype d'environnement en utilisant un système de réfrigération couplé à un ordinateur par une interface qui effectuait des acquisitions de données pour, d'une part contrôler le système et d'autre part, visualiser sous forme d'images animées, de graphiques ou de textes les interactions de variables révélatrices du fonctionnement interne du système. En permettant à l'élève de saisir, en temps réel, les variables dans leurs interactions, en lui permettant d'intervenir sur un système réel nous voulons lui permettre d'appréhender le fonctionnement de ce système de manière globale et réelle et d'apprendre à résoudre des problèmes de fonctionnement. La démarche de recherche s'est poursuivie par une mise à l'essai fonctionnelle du prototype effectuée par des experts en réfrigération. Celle-ci a permis d'identifier les défauts et d'améliorer le prototype. Une mise à l'essai empirique effectuée auprès d'élèves nous a permis de vérifier si ceux-ci pouvaient utiliser facilement cet environnement et s'ils en retiraient des avantages pédagogiques.

En conclusion, l'analyse des résultats de la mise à l'essai empirique nous permet de dire que cet environnement informatisé favorise une approche globale du système de réfrigération et permet à l'élève d'appréhender le fonctionnement du système dans son ensemble. Il favorise l'acquisition des concepts, règles et lois à partir des observations qu'il peut faire grâce à cet environnement.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE ET IDÉE DE SOLUTION 8

Problématique 9

Analyse du problème et recherche de solutions 14

Idée de solution 18

CHAPITRE 2 CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES 19

Considérations méthodologiques 22

Considérations psychologiques 27

Contexte pédagogique: La robotique pédagogique 27

Enseignement cognitif 28

La représentation imagée et graphique 37

Considérations techniques 40

Description d'un système de réfrigération 40

Description des composants de l'environnement informatisé 43

Considérations didactiques 47

La démarche systémique 47

La résolution de pannes 48

Le schème de contrôle des variables 48

Démarche systémique de résolution de problèmes et schème de contrôle des variables 50

Simulation versus robotique pédagogique 57

Définition de la simulation 57

Définition de la robotique pédagogique 59

Considérations historiques sur la robotique pédagogique 64

CHAPITRE 3 MODELE D'ACTION PÉDAGOGIQUE 67

Résultats attendus 75

Description du prototype 76

Le matériel utilisé 78
Réalisation 79
Méthodologie pour la mise à l'essai 83
Méthodologie pour la mise à l'essai fonctionnelle 83
Méthodologie pour la mise à l'essai empirique 84

CHAPITRE 4 MISES A L'ESSAI 85
Mise à l'essai fonctionnelle 86
Réalisation de la mise à l'essai 86
Résultats de la mise à l'essai 86
Sur l'utilisation et la manipulation du logiciel 87
Sur son utilisation comme outil didactique 88
Analyse et interprétation des résultats et modifications apportées suite à la mise à l'essai fonctionnelle. 91
Sur l'utilisation et la manipulation du logiciel 91
Sur son utilisation comme outil didactique 92
Mise à l'essai empirique 95
Réalisation de la mise à l'essai 95
Résultats 98
Résultats du pré-test 98
Observations sur le comportement des élèves pendant l'expérimentation ... 100
Résultats du post-test 100
Analyse des résultats 102
Analyse des résultats du pré-test 102
Analyse des observations et commentaires des étudiants 102
Analyse des résultats du post-test 103
Interprétation des résultats comparatifs entre le pré-test et le post-test 103

CONCLUSION 111
Transférabilité de la recherche 115
Piste de recherche 115

Références 116
Annexe 1 Protocole de mise à l'essai empirique 129
Annexe 2 Questionnaire de la mise à l'essai fonctionnelle 131
Annexe 3 Questionnaire de la mise à l'essai empirique 136
Annexe 4 Compilation des résultats du pré-test et du post-test 140
Annexe 5 Exemples de pages écrans du système 144

INTRODUCTION

Nous nous intéresserons à la conception et à la construction d'un environnement didactique informatisé pour l'enseignement et l'apprentissage de concepts liés à des systèmes technologiques non "visualisables", dans le sens qu'ils sont fermés et qu'il est difficile de voir ou d'appréhender d'une manière sensorielle les transformations qui s'y produisent. Dans notre démarche nous allons privilégier l'appropriation d'outils cognitifs préalables à l'apprentissage du système technologique proprement dit. Il s'agira alors de concevoir et construire un laboratoire didactique capable de représenter sous forme graphique et icônique les interactions des variables du système en même temps qu'il fonctionne, de manière à donner à l'élève toutes les informations nécessaires à la compréhension de son fonctionnement et à lui permettre d'agir sur ces variables de manière à visualiser son interaction simultanée: 1) sur le système réel, 2) sur le système simulé et 3) sur l'ensemble des interactions de variables représentées sous forme graphique. Nous appliquerons cette approche à la réfrigération. Celle-ci est un exemple type de ce que nous définissons comme un procédé complexe et non "visualisable". Un système de réfrigération est, en effet, conçu de pièces mécaniques et d'un liquide frigorifique, le tout entièrement scellé dans une enveloppe métallique. Il est donc impossible de voir bouger ces pièces mécaniques et de voir s'opérer les transformations d'état du réfrigérant. L'environnement pédagogique que nous avons développé permet une "visualisation" schématique du système de réfrigération et reflète continuellement l'état de toutes les variables du système. Il permet de visualiser ces dernières sous forme graphique pour illustrer leur évolution en fonction du temps. Il permet d'établir le lien manquant entre le système mécanique réel, son fonctionnement interne et une représentation plus symbolique de son fonctionnement.

Nous débuterons la recherche par une description de la problématique au chapitre 1. Cette description sera suivie d'une analyse du problème et d'une recherche de solutions. Ce chapitre se terminera par l'énoncé de notre idée de solution. Le chapitre 2 sera consacré aux considérations théoriques. C'est dans ce chapitre que nous énoncerons les considérations méthodologiques, psychologiques, didactiques et historiques qui nous serviront de guide tout au long de la recherche. Au chapitre 3 nous décrirons le modèle d'action pédagogique que nous proposons. Le chapitre 4 sera consacré aux mises à l'essai. Nous y décrirons la réalisation et analyserons les résultats de la mise

à l'essai fonctionnelle et de la mise à l'essai empirique. Nous terminerons par une conclusion qui résumera les résultats de la recherche.

Nous allons commencer par situer le problème de l'enseignement de la technologie et plus spécifiquement des moyens et supports pédagogiques fournis à l'étudiant tout au long de sa formation pour qu'il progresse de manière plus autonome et qu'il parvienne à une compréhension plus large des concepts et processus qui sont à la base de sa formation technique. La pratique de métiers ou de techniques exige des qualifications professionnelles de plus en plus grandes. Il ne s'agit plus seulement d'avoir des connaissances empiriques permettant de résoudre des problèmes par essai et erreur mais de bien comprendre l'ensemble des phénomènes en jeu avant de diagnostiquer par un raisonnement hypothético-déductif les problèmes qui sont en cause. La formation manuelle et technique traditionnelle ne suffit plus aux exigences de la technologie moderne. A ce sujet, Tardif et al (1992) écrivent:

> "Devant la problématique de l'explosion des connaissances pour la formation, plusieurs auteurs et chercheurs se sont particulièrement intéressés à une nouvelle approche permettant de comprendre les systèmes complexes dans lesquels les interactions entre les éléments rendent difficile, voire même impossible, la démarche traditionnelle d'enseignement, dite mécaniste."

Ces nouvelles exigences impliquent une meilleure formation scientifique et mathématique de nos étudiants afin qu'ils puissent appréhender et comprendre des phénomènes de plus en plus complexes. Toutefois, le fait qu'ils aient ces prérequis en sciences et en mathématique et qu'ils connaissent des procédures, des techniques ou même des stratégies ne nous garanti pas qu'ils comprennent un système technologique complexe. On doit aussi leur fournir les outils cognitifs nécessaires à l'intégration et à la compréhension du système. Ces outils doivent leur permettre d'acquérir les concepts utiles pour percevoir ce système dans sa globalité, de manière à rendre prédictives ses investigations des causes de problèmes, les affranchissant ainsi des procédures pas-à-pas fournies par les guides empiriques de dépannage. Un apprentissage systématique de ces

procédures ne fait, selon nous, que les dispenser d'une compréhension véritable. Il ne favorise pas non plus le transfert vers l'apprentissage d'autres systèmes.

Comme le disent Desilet et al (1991):

> "Pour favoriser le développement d'une véritable compétence, les diverses connaissances doivent être enseignées systématiquement, de façon explicite et en interaction les unes avec les autres."

Leur argumentation nous rejoindrait totalement si l'on pouvait lire "doivent être enseignées de manière systémique" au lieu de "doivent être enseignées systématiquement". En effet, nous pensons qu'il faut appréhender le système d'une manière globale pour en comprendre toutes les interactions de variables et non pas se contenter de décomposer celui-ci systématiquement en pensant que l'étudiant pourra le recomposer pour en avoir une perception globale.

Nous allons donc inclure dans notre devis didactique cette activité de décomposition du système en ses diverses parties, puis, en favorisant l'étude du système en action, nous permettrons la recomposition des parties en un tout fonctionnel. Ainsi nous formerons des étudiants capables de mieux appréhender et comprendre les systèmes complexes dès leur entrée sur le marché du travail, de faire preuve d'une autonomie suffisante dans la manière d'approcher et de concevoir les projets qui leur sont confiés dans des bureaux d'ingénierie et de les outiller pour imaginer et proposer des solutions à des problèmes pratiques de conception ou de gestion des systèmes techniques qui leur sont soumis.

Cette activité intellectuelle de décomposition-recomposition d'un système complexe s'imagine très bien dans un laboratoire de cinématique où l'élève peut visualiser directement le phénomène à l'étude (une bille qui descend le long d'un plan incliné). Par contre, dans un système complexe comme l'électricité, le phénomène à l'étude nous demande d'appréhender des concepts non "visualisables" comme la variation de l'intensité du courant en fonction de la variation de la tension.

L'enseignement de concepts technologiques complexes a toujours créé certains problèmes d'apprentissage aux étudiants et de grands défis pédagogiques aux divers intervenants. De plus, comme nous nous intéressons aux concepts liés à des systèmes non "visualisables", notre problème spécifique d'enseignement s'en trouve augmenté. En effet, ces systèmes sont fermés et il est difficile de voir ou d'appréhender d'une manière sensorielle les transformations qui s'y produisent. Les termes "visualisable" ou non "visualisable" sont utilisés ici dans un sens très large incluant la capacité, ou non, d'observer ou de voir, sous une forme ou une autre, toutes les variables du système. Par exemple en cinématique, le mouvement composé des variables vitesse et temps est "visualisable" par l'observation du déplacement d'un véhicule. Par contre en électricité les relations entre la tension et la résistance, soit le courant ou plus simplement le déplacement des électrons dans le circuit est non "visualisable".

S'il est difficile à un élève de se représenter une interaction entre des variables lors de l'étude de phénomènes directement et sensoriellement "visualisables", à fortiori, avec des phénomènes non "visualisables" comme le fonctionnement interne d'un moteur à explosion ou d'un système de réfrigération, cette représentation devient difficile d'accès puisqu'il faut recourir alors à l'abstraction ou au support mathématique ou graphique.

Les difficultés d'apprentissage reliées à ce genre de technologie non "visualisable" ont été soulevées de nombreuses fois aux réunions de la coordination provinciale du secteur de la mécanique du bâtiment. Plusieurs discussions aux niveaux local et provincial nous ont amenés à confronter ces observations avec d'autres enseignants dans des domaines connexes. Ces difficultés d'apprentissage résultent d'une mauvaise compréhension du fonctionnement interne de ces systèmes. On le constate dans les difficultés qu'ont les élèves à diagnostiquer une panne, à incriminer l'action fautive d'une variable et à prédire les conséquences sur l'ensemble du système en opération. Ces difficultés peuvent être associées à l'activité de construction d'un schème de contrôle de variable. D'ailleurs Postic (1971) écrit:

"La deuxième phase conduit à isoler chaque facteur et, par des expériences, à en étudier l'importance. Dans chaque expérience réalisée, tous les facteurs sont laissés invariables sauf un seul.

...L'expérimentation conduit à l'élaboration, par les élèves eux-mêmes, des principes efficaces d'action."

Ce qui ramène cette activité de recherche de pannes à la construction du schème de contrôle de variables en sciences expérimentales. Toutefois Postic ne distingue pas l'aspect "visualisable" ou non "visualisable" des facteurs à l'étude.

Nonnon (1989) dans son laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur, crée une didactique centrée sur l'acquisition d'outils cognitifs comme la représentation graphique, espérant que ces outils seront disponibles à l'élève pour appréhender d'autres phénomènes "visualisables". Cependant, à aucun moment il ne mentionne une didactique permettant l'acquisition de ces outils cognitifs à partir de phénomènes non "visualisables".

Nous allons associer la compréhension des interactions de variables à des études qui ont été faites sur le raisonnement hypothético-déductif chez les étudiants du réseau collégial. Les recherches de Desautels (1978), Tellier (1979) et Torkia-Lagacé (1981) citées par Nonnon (1986) ont vérifié plus systématiquement la faiblesse des structures du raisonnement hypothético-déductif de ces étudiants. Nonnon (1986) précise:

"Ces auteurs ont montré que la majorité des étudiants du niveau collégial n'ont pas la maîtrise de la pensée formelle telle que définie par Piaget (1936). Le Comité de coordination de psychologie du réseau collégial s'est penché de nombreuses fois sur ce problème et plusieurs tentatives ont été faites pour accélérer le processus de maturation de ces structures; toutefois, les initiatives n'ont pas toujours été couronnées de succès.

... Les étudiants de niveau collégial devraient pourtant posséder la maîtrise intellectuelle propre au stade de la pensée formelle, puisqu'ils ont entre 16 et 18 ans et

que le développement de ces structures se constituerait selon Piaget chez les adolescents ayant entre 12 et 15 ans."

Comme ces auteurs, nous souhaitons que l'étudiant puisse structurer son raisonnement hypothético-déductif, qu'il améliore les mécanismes favorisant l'acquisition de stratégies cognitives en sciences expérimentales ou en technologie.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE ET IDÉE DE SOLUTION

Problématique

L'étape d'analyse est primordiale pour l'étudiant en situation d'apprentissage d'un système technologique complexe. Elle doit lui permettre de discerner les différentes parties du système et de comprendre les rapports qu'elles entretiennent les unes avec les autres. Elle doit l'amener à une compréhension globale du phénomène. Dans une classe traditionnelle d'enseignement, on ne permet que rarement à l'élève (surtout dans le secteur professionnel) de développer cette activité intellectuelle qu'est l'analyse. On leur propose plutôt d'étudier des phénomènes qui ont déjà été analysés par le professeur. Nous pensons que l'étudiant doit analyser le système pour en dégager les effets et les causes afin d'en comprendre le fonctionnement global.

On pourrait croire que l'étape d'analyse d'un système passe préalablement par une bonne compréhension des principaux principes physiques qui sont en cause, ce qui effectivement ne peut pas nuire. Cependant, d'une part, rien ne nous garanti que cette compréhension de base des principes physiques existe chez la plupart des étudiants du niveau technique, d'autre part, l'étude des phénomènes physiques un à un, ne nous garanti pas une compréhension d'un système technologique sophistiqué impliquant ces phénomènes en interaction. Cette compréhension pourrait s'obtenir, par contre, en observant "in vivo" le système global en fonctionnement. On peut alors, dans la plupart des cas, détailler chaque phénomène, et dans un même temps voir son ou ses interactions avec d'autres phénomènes. Notre action va se situer à ce niveau, c'est à dire de rendre chaque phénomène observable "in vivo".

Cette problématique, causée par le manque de transparence des systèmes à étudier, se retrouve dans presque tous les domaines de l'enseignement technique ou scientifique. Le découpage effectué par les programmes permet bien sûr l'étude séparée de tous les éléments reliés à un système technologique. Cependant, c'est souvent au détriment de l'interaction avec les autres éléments du système. Par exemple, dans

l'enseignement de l'électricité[1] les interactions sont exposées sous forme de lois ou de règles. Il s'agit là d'une méthode déductive d'enseignement que l'on va justifier ensuite au laboratoire. Alors, l'étudiant mesure les valeurs de tensions et de courants à différents points du circuit, mais à un seul endroit à la fois, ce qui rend difficile la compréhension des diverses relations entre les tensions et les courants entre ces différents points. De plus, le caractère non "visualisable" du déplacement des électrons dans les conducteurs ne favorise pas l'appréhension des interactions tension-courant. Il est nécessaire alors de recourir à une représentation abstraite permettant de visualiser cette interaction tension-courant incluant la résistance. Cette interaction est représentée par la variation de la pente (tension-courant) sur un graphique ou par l'équation mathématique de cette relation.

Ces expérimentations ne répondent pas selon nous aux objectifs de maîtrise des concepts reliés à la compréhension du phénomène puisque l'étude de chaque phénomène ne permet pas à l'élève de visualiser l'interaction de ceux-ci "in vivo" et de s'impliquer de manière inductive pour appréhender de manière globale le fonctionnement du système. Il est important de visualiser le fonctionnement global du système avant de procéder à l'analyse de chacune de ses composantes et des phénomènes physiques en jeux. De plus pour dynamiser cette relation, entre le phénomène et sa représentation abstraite, il est nécessaire que celle-ci soit interactive, c'est l'idée que sous-tend le concept de "lunette cognitive". La "lunette cognitive" est définie par son auteur Nonnon (1992) de la manière suivante:

"La lunette cognitive est un dispositif robotisé qui permet d'observer en contiguïté un phénomène physique et sa représentation sous forme graphique. Ce qui permet à l'étudiant d'appréhender le phénomène à l'étude d'une manière à la fois sensorielle et symbolique. Ce dispositif lui donne aussi accès à l'induction et à la déduction expérimentale, puisqu'il peut, en partant du phénomène physique, en construire le

1 Ici le déplacement de l'électron n'est pas directement visualisable, c'est un construit théorique que l'on peut représenter par analogie avec le déplacement de l'eau dans une canalisation.

modèle mathématique et, inversement en partant de ce modèle, provoquer le phénomène physique sous-jacent."

Nous avons l'intention d'utiliser ce principe avec nos élèves. D'une part parce qu'il devrait leur faciliter le passage du concret vers l'abstrait et que ce passage n'est pas évident pour les élèves. Il devrait contribuer à rendre signifiant le langage graphique vis-à-vis les phénomènes étudiés. D'autre part, parce qu'il devrait leur permettre d'analyser un phénomène d'une manière à la fois concrète et abstraite.

Nous traiterons ici de la compréhension et de l'apprentissage d'un système de réfrigération. Celui-ci est un exemple type de ce que nous définissons (voir Tableau 1) comme un système technologique complexe et non "visualisable". Il met en interaction des concepts scientifiques qui relèvent de la mécanique, de l'électricité et de la thermodynamique. Comme nous l'avons déjà dit pour les phénomènes électriques, on peut bien sûr découper l'ensemble de ces concepts, les étudier de manière séparée et les concevoir comme des préalables incontournables à la compréhension des systèmes de réfrigération, mais cette didactique ne nous garanti pas une compréhension des nombreuses interactions des différents phénomènes entre-eux. Nous voulons distinguer , "visualisable", que l'on peut appréhender directement, de non "visualisable", qui ne s'appréhende que par des représentations imagées, graphiques ou mathématiques.

	SIMPLE	COMPLEXE
"VISUALISABLE"	* Levier * Plan incliné	* Transmission mécanique
NON "VISUALISABLE"	* Circuit de distribution de l'eau	* Moteur à explosion * Réfrigérateur * Téléviseur

Tableau 1

Classification de certains exemples de systèmes "visualisables" et non "visualisables" en fonction de leur complexité.

Les considérations didactiques mentionnées précédemment sont d'autant plus pertinentes dans le domaine de la réfrigération puisque la possibilité de manipuler et d'expérimenter sur les variables pression et température est plus difficile à réaliser que sur les variables courant et tension que l'on peut ajuster et contrôler très facilement. En effet, la compréhension d'un système de réfrigération est d'autant plus complexe qu'elle implique des interactions entre des variables non "visualisables" comme la température et la pression. De plus, ces interactions ne sont pas simples puisqu'elles provoquent des changements d'état de liquide à gazeux et inversement, ces changements d'état provoquent, aussi, des variations de pression et de température. Il est évident que l'enseignement et l'apprentissage de ces notions, mais surtout leur appréhension par l'élève, sont fondamentales. Cette appréhension n'est pas directe puisque, rappelons-le, il est impossible d'observer ces diverses transformations effectuées dans le cycle de réfrigération, ces dernières se faisant sous la barrière visuelle constituée par l'enveloppe métallique du système. Ainsi, le cycle de réfrigération est un système complexe non "visualisable" puisqu'il implique des variables non perceptibles sensoriellement. Par exemple, les variations de températures provoquées dans le système ne peuvent être évaluées directement, de manière sensorielle, avec précision; il est nécessaire d'utiliser des instruments de mesures électroniques pour obtenir des lectures exactes. Il en est de même pour les variations de pression exercées par le réfrigérant à l'intérieur des conduites du système, variations qui constituent aussi un paramètre essentiel pour l'analyse du cycle de réfrigération.

Il en découle que le fonctionnement du système obéit à un ensemble de variables que l'étudiant doit mesurer en même temps et à plusieurs reprises. Il doit établir un tableau de ces valeurs pour se représenter leur évolution en fonction du temps. Il devra ensuite en tracer un graphique pour faire le lien entre ces valeurs et le phénomène qu'elles représentent et surtout se représenter l'interaction entre ces variables puisque c'est cette interaction de variables sous forme symbolique qui est révélatrice de l'interaction des variables physiques. L'interaction de ces variables physiques étant elle même révélatrice du fonctionnement du système technologique qu'est un système de réfrigération.

Les moyens utilisés actuellement pour l'enseignement de ces phénomènes sont très conservateurs. La pratique largement utilisée consiste à faire appel à des notes de cours. A l'occasion, certains enseignants utilisent le rétroprojecteur afin d'étudier le cycle de réfrigération sur une image. Certaines institutions possèdent un système ayant une partie de ses conduits en verre, permettant une visualisation des transformations d'état liquide ou gazeux impliquées dans le cycle de réfrigération. Cependant, ce système fonctionne avec un réfrigérant (fréon 114) très peu utilisé dans les systèmes à compression industriels. On utilise ce dernier pour ses faibles températures et pressions, ces conditions ne sont cependant pas celles que l'on retrouve le plus couramment en industrie.

Les didactiques traditionnelles impliquent des cours magistraux où le professeur doit expliquer l'interaction des différentes variables incluant les changements d'état révélateurs du fonctionnement du système de réfrigération sans pouvoir les faire observer directement aux élèves. En pratique, l'expérimentation de tels systèmes est très difficile. Toute la partie expérimentation, qui se fait au laboratoire, n'est constituée que d'observations empiriques. Ces dernières se font à partir de systèmes réels et fonctionnels. Les travaux pratiques d'applications ne permettent que de vérifier, à partir des données déterminées pendant les cours magistraux, les différentes pressions et d'en déduire théoriquement les difiérentes températures. Ce sont des observations instantanées qui ne permettent pas de voir leur évolution en fonction du temps et encore moins l'interaction dynamique des différentes variables. Ces observations ne permettent pas à l'élève d'appréhender et de comprendre les changements d'état et leur influence sur la relation pression-température.

Bien que les étudiants passent beaucoup de temps au laboratoire les expériences qu'ils y font sont peu signifiantes pour la compréhension du phénomène à l'étude. Cette façon d'enseigner qui exige comme préalable une compréhension théorique de ce phénomène avant sa mise en fonction au laboratoire est difficile pour les étudiants, particulièrement ceux qui privilégient l'aspect concret et pratique des choses. Il faudrait alors inverser cette pratique didactique et permettre à l'élève de manipuler et d'expérimenter avant de formaliser théoriquement le fonctionnement du système.

Analyse du problème et recherche de solutions

Comment faire pour faciliter le cheminement d'apprentissage de l'élève dans le cas de la réfrigération? Comment le libérer des tâches préalables à caractère manuel (prises de mesures) et mathématique (transformation des résultats obtenus), pour lui permettre de se concentrer sur l'analyse du fonctionnement du système? Comment lui permettre de réaliser un nombre beaucoup plus important d'expériences qui contribueraient à concrétiser et à ancrer en lui-même l'organisation de ses connaissances théoriques?

Le support à fournir à l'étudiant dans son cheminement doit non seulement le libérer de certaines tâches mais aussi lui faciliter la compréhension du déroulement du cycle de la réfrigération dans toute sa complexité. L'étudiant doit parvenir à visualiser et à se représenter le système entier en activité, c'est à-dire au niveau des multiples interactions des variables affectant l'état du refrigérant tout au long du cycle, et des variations des valeurs de ces variables. Il ne s'agit pas seulement de décrire ce qu'il advient de telle variable mais de permettre à l'étudiant de l'observer en conjonction avec les autres variables, en tout point et tout au long du cycle. Or, ces aspects évolutifs et interactifs des variables et de leurs valeurs sont impossibles ici à saisir sensoriellement. Ils se manifestent dans les transformations d'état du réfrigérant en circulation à l'intérieur des conduits du système, et le tout est entièrement scellé dans une enveloppe métallique.

L'objectif que nous poursuivons consiste à privilégier l'aspect inductif de l'enseignement en utilisant le laboratoire, à améliorer l'aspect didactique de celui-ci. Le but principal de ce dernier consisterait alors à rendre "visualisable" les variations (température et pression) et transformations d'état du réfrigérant pour permettre à l'étudiant d'induire expérimentalement le principe de fonctionnement d'un système de réfrigération.

Notre postulat essentiel est que l'absence de tout référant sensoriel serait la principale cause empêchant de nombreux étudiants d'atteindre les objectifs de compréhension du phénomène dans son ensemble.[2]

Les objectifs de ce laboratoire, au niveau du comportement de l'étudiant, seraient de le rendre plus actif dans sa démarche d'apprentissage et plus autonome dans ses prédictions ou diagnostiques. Ceci en l'amenant à se poser des questions, à imaginer, puis à réaliser des expériences pour répondre à ces questions. Au niveau de la compréhension l'étudiant en manipulant et observant, même indirectement, le résultat de ces manipulations serait plus en mesure d'analyser le fonctionnement du système de réfrigération. Il serait par exemple en mesure de bien comprendre les interactions entre ces diverses composantes, de prédire la réaction de chaque paramètre mesurable sur l'ensemble du système.

Nous cherchons à mettre l'étudiant en contact avec un système réel auprès duquel il puisse interagir. Dans cette perspective, les travaux de Nonnon (1986) nous ont semblé suggestifs. Son développement d'un prototype générant une représentation graphique en temps réel de la fonction du premier degré est inspirante. Des mises à l'essai ont démontré que les élèves étaient capables d'analyser et de prédire le déplacement, en fonction du temps, d'un train miniature en analysant la représentation graphique de la fonction mathématique correspondante. Or, c'est précisément ce genre de processus d'analyse-prédiction que les étudiants doivent maîtriser pour être en mesure d'intervenir efficacement dans un système de réfrigération.

Les recherches de Nieto (1989), sous la direction de Nonnon, nous ont également paru présenter beaucoup d'intérêt. Il a en effet développé un prototype physique, constitué d'un pendule, impliquant un grand nombre de variables et des variables plus complexes dans leur forme de représentation; celles qui sont en jeu dans un phénomène d'oscillations périodiques. Il a élaboré et expérimenté avec des élèves un "système-laboratoire". L'analyse des résultats de son expérimentation lui a permis de vérifier qu'après avoir manipulé et exploré cet environnement, les élèves sont capables

---

2 Ce postulat est plus une conviction personnelle, à notre connaissance il n'a jamais été démontré.

de distinguer les variables indépendantes et dépendantes ainsi que d'expérimenter et de prédire l'effet des premières sur le comportement des secondes.

Nous retenons de Nonnon (1986) l'idée de "lunette cognitive". Il s'agit, comme nous l'avons déjà défini précédemment, d'une présentation simultanée de l'action physique et de sa représentation graphique. L'application simple qui en est faite est convaincante et suggestive.

Nous pensons aussi que l'utilisation de la représentation graphique et instrumentale peut accélérer la démarche d'apprentissage de l'étudiant et favoriser la qualité de sa formation. Il nous semble qu'un environnement pédagogique informatisé qui permettrait une visualisation schématique du système de réfrigération et refléterait en temps réel l'état de tous ses paramètres, serait plus propice à l'atteinte des objectifs d'apprentissage formulés plus haut.

Donc nous voudrions recourir au laboratoire de manière inductive, engager l'élève dans l'exploration avant l'analyse du phénomène à l'étude. Ce défi nous impose 1) de faciliter l'accès au laboratoire, ce que nous voulons faire en construisant un laboratoire assisté et contrôlé par ordinateur (appariteur robot), 2) de faciliter sa compréhension globale du phénomène à l'étude, en n'exigeant pas de préalables trop lourds en mathématiques mais en lui permettant d'acquérir ces outils mathématiques et graphiques au contact direct avec des phénomènes impliqués dans le cycle de réfrigération.

Nonnon et Laurencelle (1984) proposent l'utilisation de l'ordinateur afin de créer un environnement riche, propice au développement d'une pensée scientifique chez l'étudiant. Ils écrivent:

> "L'appariteur-robot, en tant qu'instrument sophistiqué, inséré dans un processus d'apprentissage et de développement, devrait devenir un auxiliaire d'enseignement privilégié dans nos laboratoires."

L'utilisation de l'ordinateur comme appariteur-robot permet de réaliser des expérimentations plus complexes, en plus grand nombre. Il remplace des instruments très coûteux et réduit le temps

nécessaire à la réalisation des expériences, ce qui peut en accroître le nombre. Il simplifie l'ensemble des manipulations et permet une interaction véritable entre l'étudiant et la situation expérimentale. Les mêmes auteurs ajoutent:

> "L'appariteur-robot assume toutes les tâches d'un expérimentateur-robot, règle les conditions d'expérience, cumule les données et s'adapte aux changements de la situation, ce qui libère l'étudiant des contraintes expérimentales et lui donne accès aux dimensions critiques et créatrices de sa recherche. Ainsi, l'étudiant est à même de reproduire rapidement une expérience en changeant les paramètres..."

Dans la même étude, les auteurs ont également fait ressortir plusieurs caractéristiques de l'appariteur-robot. Ils constatent que ce dernier laisse à l'étudiant le contrôle absolu de l'instrumentation, lui assure un contact permanent avec le déroulement expérimental au moyen de la visualisation graphique ou de messages pertinents, le place dans une situation dynamique et efficace de vérification d'hypothèses, lui permet de faire le tour du domaine étudié par la simple modification des paramètres de l'expérience et de faire porter ces expériences sur des thèmes différents en lui fournissant sur appel un répertoire d'expériences utilisables.

Alors, en quoi pourrait consister et quelle forme pourrait prendre ce support à l'apprentissage-enseignement de concepts technologiques complexes portant sur des systèmes non "visualisables", comme par exemple un système de réfrigération par compression? Comment prendre en compte l'inévitable et réelle complexité du fonctionnement de tels systèmes?

L'enseignement de ce type de concepts faisant généralement appel aux représentations symboliques (graphiques et mathématiques), l'utilisation d'un ordinateur travaillant en contrôle de procédé et en mode graphique avec possibilité de programmer une animation icônique en temps réel, nous semble particulièrement pertinente puisque cela nous permet de réaliser des expérimentations en temps réel, de changer à volonté les valeurs des paramètres et d'illustrer de manière dynamique le déroulement du phénomène de manières icônique et symbolique.

Idée de solution

Nous avons vu qu'en formation technique une formation en sciences et en mathématiques est de plus en plus requise. Nous avons également vu que le raisonnement impliqué pour appréhender le fonctionnement de systèmes complexes s'apparente à la construction d'un schème de contrôle des variables en sciences expérimentales. Nous avons vu aussi que des laboratoires assistés par ordinateur sont assez avancés pour développer ce type de raisonnement chez les élèves en sciences physiques. Cependant, ce type de laboratoire n'existe pas dans le milieu de l'enseignement professionnel. De plus, aucun de ces laboratoires n'est conçu pour travailler sur des phénomènes non "visualisables".

Notre idée va donc consister à concevoir et à réaliser un système-laboratoire assisté par ordinateur qui s'adresserait à l'enseignement professionnel et qui considérerait tous les facteurs internes d'un système non "visualisable", les rendrait "visualisables" sous forme icônique et les rendrait explicites en présentant leurs interactions sous forme graphique.

Nous devrons réaliser techniquement ce système qui pourra être commandé par l'élève via le clavier de l'ordinateur, il permettra également de modifier l'état de certaines variables avant ou pendant le déroulement de l'expérience. Ce système grâce à son raccordement aux appareils réels (acquisition de donnés) ainsi qu'à ses possibilités graphiques représentant symboliquement ces donnés permettra de "visualiser" en temps réel les différentes phases opératoires du cycle de réfrigération.

L'objectif de cette recherche-développement est donc de développer ce système laboratoire, un environnement pédagogique informatisé facilitant l'étude expérimentale de concepts scientifiques et technologiques non "visualisables" impliqués dans la réfrigération.

La démarche de cette recherche de développement va consister à concevoir et réaliser ce système laboratoire. A le mettre à l'essai pour améliorer son efficacité tant didactique que technique et à répondre aux questions soulevées précédemment.

CHAPITRE 2

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Dans cette recherche, avant de décrire ce système laboratoire, ce robot pédagogique, nous allons tenir compte d'un certain nombre de considérations théoriques qui nous serviront de guide tout au long de la recherche. Nous énoncerons d'abord des considérations au plan méthodologique, celles-ci guideront notre démarche de recherche. Puis, nous prendrons des considérations théoriques pour y analyser et y confronter notre idée pédagogique avec pour principal objectif de l'améliorer, ou la rejeter si besoin est.

Puisque le volet méthodologique entourant les recherches de développement est, tout comme ce type de recherche, relativement jeune et que les publications classiques traitant des méthodologies de recherche ne touchent que très brièvement les recherches de développement, il nous a paru important d'approfondir ce sujet. La première section de ce chapitre traite donc des considérations méthodologiques; elles nous permettront de bien définir la méthodologie de recherche que nous utiliserons.

La deuxième partie de ce chapitre sera consacrée aux considérations psychologiques. Dans cette section nous énoncerons les fondements psychologiques qui seront à la base de la réalisation de notre projet. Nous tenterons de justifier l'intérêt d'un tel robot pédagogique par rapport aux fondements psychologiques de l'enseignement cognitif.

Dans la troisième section nous traiterons brièvement des considérations techniques. En effet il sera nécessaire de bien connaître toutes les possibilités autant que les limites de la technologie face à la robotique pédagogique.

Une quatrième partie sera consacrée aux considérations didactiques. Par une analyse comparative de la démarche systémique, de la démarche de recherche de panne et du schème de contrôle des variables nous essaierons de faire ressortir les aspects applicables à la réalisation de notre outil pédagogique.

Finalement la cinquième et dernière partie de ce chapitre sera consacrée aux considérations historiques. Nous croyons important de bien connaître ce qui a été réalisé dans le domaine de la robotique pédagogique jusqu'ici. Nous ferons donc le point sur l'état de la question.

Dans un second temps, nous décrirons un modèle d'action que nous concrétiserons par la construction d'un prototype. Ce prototype devra permettre une meilleure interaction entre l'étudiant et le système de réfrigération par l'utilisation d'un ordinateur qui contrôlera le système de réfrigération pour le bénéfice de l'étudiant. Ce dernier pourra visualiser en temps réel l'interaction de ces variables sous forme graphique. Nous établirons les possibilités et limites que nous offre cette association. Enfin nous soumettrons ce prototype à des mises à l'essai fonctionnelles et empiriques. Lors de la mise à l'essai nous étudierons le comportement des étudiants vis-a-vis cet environnement afin d'évaluer leurs habiletés à interagir avec ces nouveaux équipements et à comprendre un système complexe comme celui de la réfrigération. L'analyse détaillée des interactions des étudiants avec le système nous permettra également de discuter du transfert de cette approche sur d'autres systèmes. Finalement nous résumerons toute la démarche que nous aurons prise alors pour atteindre nos objectifs de recherche incluant la production qui s'y rattache.

Considérations méthodologiques

De Landsheere (1972) distingue trois catégories principales de recherche correspondant à l'acheminement de la découverte vers son exploitation dans la vie quotidienne: la recherche fondamentale, la recherche appliquée et la recherche de développement technique.

La première est centrée sur la recherche de connaissances nouvelles ou de champs d'investigation nouveaux. Elle n'a pas de but pratique spécifique. Le chercheur n'a pas à se soucier de l'application pratique des nouvelles connaissances. La deuxième vise l'application pratique de la connaissance scientifique, elle est l'étape intermédiaire entre la découverte et l'utilisation. La troisième consiste à adapter systématiquement les données de la recherche appliquée et des connaissances empiriques afin de produire et d'employer des procédés, des méthodes ou des appareils nouveaux dans la vie quotidienne.

Notre recherche nous a permis d'identifier plusieurs modèles de méthodologie de recherche de développement. Elle nous a ammené à constater que pour le domaine de l'enseignement, il existe des méthodologies souples, s'adaptant à la majorité des développements de systèmes d'enseignement. Ces derniers doivent cependant être complétés en fonction du domaine spécifique de la recherche. Le modèle de Lebrun et Berthelot (1991), celui de Nonnon (1986), celui de Van der Maren (1990) ainsi que celui de Pintrich et al (1984) offrent un intérêt particulier. Spécifiquement conçus pour le développement de systèmes d'enseignement ils nous semblent assez souples pour s'adapter à la majorité des recherches de développement dans ce domaine. Certains ont des points dominants, celui de Nonnon propose spécifiquement une étape de considérations théoriques tandis que celui de Pintrich et al propose des entrées sorties à toutes les étapes.

La nature du problème que nous avons à résoudre, ainsi que sa solution qui implique la conception d'un système informatisé d'apprentissage, nous entraînent au développement d'un modèle inspiré de ceux que nous venons de citer mais plus particulièrement celui de Nonnon. Ce dernier nous semble particulièrement adapté à ce genre de recherche. Le problème est d'abord posé, il est

analysé sous une forme déductive et il est ensuite mis en relation avec les connaissances et les faits établis dans le but de faire ressortir une idée de solution.

La figure 6 illustre le modèle de recherche que nous utiliserons.

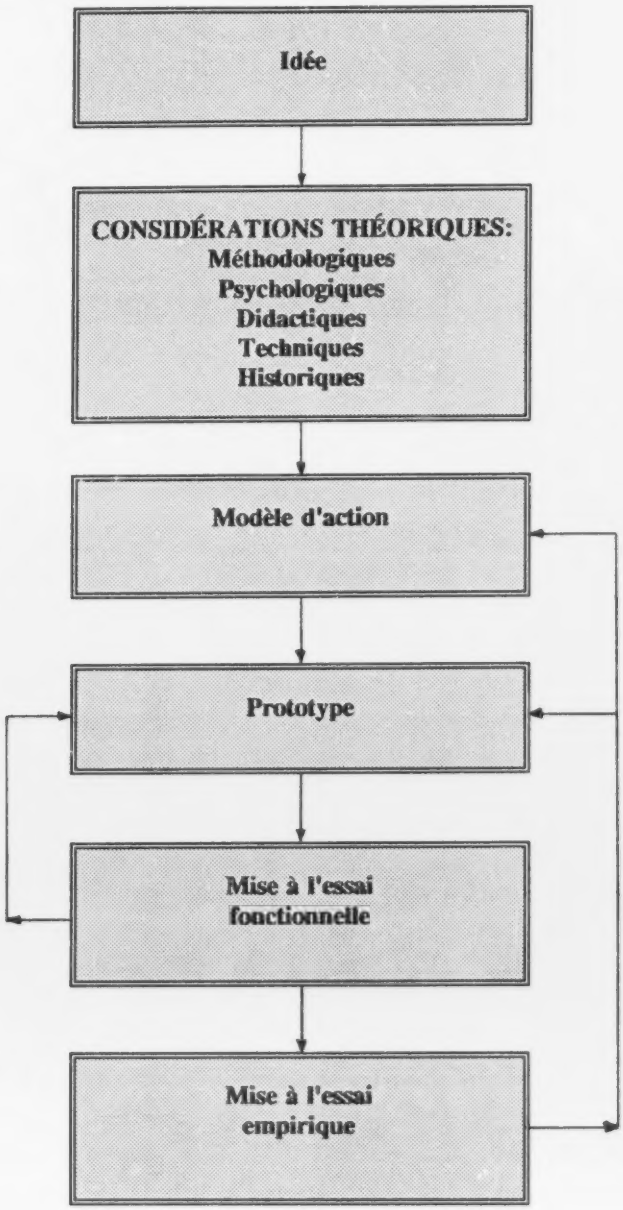


Figure 6
Modèle de recherche

Cette recherche consiste à opérationnaliser une idée pédagogique par la conception d'un modèle d'action ou d'apprentissage élaboré et supporté par des considérations théoriques, ce modèle d'action sera concrétisé dans un prototype et mis à l'essai. Dans une première phase, (problématique) nous allons vérifier les bénéfices didactiques de notre idée, cette problématique sera vue comme une dialectique entre cette idée à caractère technologique et son incidence au plan cognitif. Dans une deuxième phase de considérations théoriques, nous rechercherons notamment toute l'information disponible concernant les implications relatives à l'utilisation de l'image dans l'enseignement et l'apprentissage des techniques dites non visualisables. Nous poursuivrons dans le même ordre d'idée, mais en regard de l'utilisation de la représentation graphique. Finalement nous compléterons par le volet technologique en recherchant toute l'information susceptible de nous aider à utiliser l'ordinateur et les principes de robotique pédagogique pour proposer une stratégie didactique adaptée à nos besoins. C'est par elle que nous allons principalement démarquer notre démarche de recherche de développement universitaire d'une démarche de recherche industrielle.

L'étape suivante consiste à réaliser le design pédagogique du système, un modèle d'action pédagogique à concevoir sur papier incluant les aspects technologiques du prototype à construire. C'est dans cette phase que toutes les informations recueillies à l'étape précédente prendront leur importance et nous permettront de concevoir le système en tenant compte de tous les aspects et contraintes de la pédagogie.

Suivra ensuite la phase de réalisation du prototype. Cette étape plus technique consiste à construire le système en nous guidant sur le modèle d'action pédagogique. Il faudra connecter les divers composants afin de les rendre interactifs; relier le système de réfrigération, l'automate programmable et le micro-ordinateur. Nous terminerons cette phase en réalisant la programmation nécessaire au contrôle de l'environnement, à la visualisation graphique et au dialogue avec l'étudiant.

Nous procéderons ensuite à la mise à l'essai fonctionnelle du système. Celle-ci est un test large qui vérifie si le prototype répond bien aux critères désirés. C'est en utilisant celui-ci de toutes les façons possibles que nous vérifierons son comportement. La mise à l'essai est généralement suivie de correctifs ou de modifications jugées nécessaires par ce dernier essai. Ces essais correctifs

se répéteront jusqu'à ce que le fonctionnement du prototype réponde en tout point aux critères technologiques nécessaires pour supporter cette pédagogie.

Finalement nous passerons à la mise à l'essai empirique. Cette dernière permettra de vérifier si le prototype peut être utilisé facilement par les étudiants et s'ils en retirent une meilleure compréhension du système complexe de réfrigération. Ceci dans le double but de parfaire la conception du prototype et de sa documentation avant de l'intégrer à l'école et de vérifier la pertinence du modèle d'action de façon à le préciser ou à l'améliorer suite à sa confrontation empirique avec des étudiants.

Chacune des étapes de la réalisation du projet se fera au collège de St-Hyacinthe. La mise à l'essai fonctionnelle sera effectuée avec des experts-matière. La mise à l'essai empirique s'effectuera avec des élèves du programme de "Technologie de la mécanique du bâtiment" au collège de St-Hyacinthe.

Considérations psychologiques

Cette recherche se situe dans le cadre de la psychologie cognitive et plus spécifiquement sur le traitement de l'information. Nous orienterons notre recherche en considérant l'apprentissage cognitif comme un processus séquentiel comportant les étapes suivantes: collecte d'informations, stockage temporaire, interprétation, compréhension et stockage en mémoire à long terme.

Le système à développer sera basé sur le principe que la cognition réfère à tout ensemble d'activités visant l'acquisition et l'organisation des connaissances. Les activités seront centrées sur des phénomènes physiques réels auxquels nous associerons des représentations imagées et graphiques. Pour cette fin nous devrons permettre à l'étudiant de paramètrer, contrôler les phénomènes et de les visualiser d'une manière symbolique ou graphique. Nous pensons faciliter les activités cognitives de résolution de problèmes technologiques en fournissant un support graphique à l'activité de mémorisation. Pour ce faire nous allons situer la robotique pédagogique qui fournit aux élèves des outils cognitifs pour l'acquisition de ces représentations. Nous voulons ainsi fournir au lecteur une clef pour mieux cerner et comprendre le type d'enseignement cognitif que nous visons et l'acheminer très vite vers des considérations liées plus spécifiquement aux représentations imagées et graphiques.

Contexte pédagogique: La robotique pédagogique

Il nous semble important de bien définir la robotique pédagogique avant d'aller plus loin. Nous avons noté que ce champ d'étude est très large et que ses objectifs peuvent varier légèrement d'un type d'utilisation à un autre. Les relations vis-à-vis les fondements psychologiques étant reliées à ces objectifs il nous a paru important de bien définir notre type d'utilisation.

Legendre (1988) définit la robotique en ces termes: "l'ensemble de méthodes et de moyens dérivés de l'informatique dont l'objet d'étude concerne la conception, la programmation et la mise en

oeuvre de mécanismes automatiques pouvant se substituer à l'être humain pour effectuer des opérations régulatrices d'ordre intellectuel, moteur et sensoriel".

Nous avons constaté qu'il existe plus d'une définition de la robotique pédagogique. Vivet (1983) désigne sous le terme générique de micro-robotique pédagogique, l'ensemble des activités d'apprentissage en robotique à l'école, qui consiste en la construction et la mise en action de micro-robots. Pelchat (1989) définit la robotique pédagogique en la différenciant de la robotique industrielle par sa finalité; la première: "met l'accent sur la quantité et la qualité des apprentissages... alors que la seconde le met sur la performance des machines développées". Nonnon (1987) définit la robotique pédagogique par son utilisation: "l'utilisation de la technologie de l'automatisation, dans sa fonction de substitution d'une activité intelligente, dans un but pédagogique et épistémologique en permettant à l'élève d'opérationnaliser les actions concrètes d'un système robotisé", ou encore en fonction de ses objectifs: "la robotique pédagogique vise principalement à développer chez l'élève des habiletés intellectuelles et des stratégies cognitives". Nous retiendrons la définition de Nonnon puisqu'elle établit plus précisément certaines limites tant au niveau de la technologie que de la pédagogie. Il nous apparaît cependant que toutes définitions ne sauraient être plus précises puisqu'elles se doivent de tenir compte de son aspect provisoire. La robotique étant une technologie relativement jeune et en pleine évolution, la robotique pédagogique l'est encore plus et son potentiel de développement nous paraît très important. Nous croyons de plus qu'il sera nécessaire de subdiviser la robotique pédagogique en diverses spécialités distinctes. Une des spécialisations importantes de la robotique pédagogique sera sans doute l'outil de laboratoire.

Lemire (1990) dans un bilan sur la robotique pédagogique au Québec reprend l'argumentation des chercheurs sur l'ordinateur outil de laboratoire, elle écrit:

> "la possibilité de représentations simultanées graphiques et physique (concrète) d'un phénomène, nous apparaît tout à fait unique et rendue faisable uniquement grâce à la robotique (dans son aspect utilisation de la technologie de l'informatique dans un but de manipulation et de mise en mouvement). Cette spécificité n'apparaît que dans les

expériences où la robotique est exploitée dans le concept de l'ordinateur outil de travail au laboratoire".

Elle constate également dans son bilan que de telles applications de la robotique sont peu nombreuses.

Nous précisons donc qu'il est question ici de robotique pédagogique utilisée comme outil de laboratoire. Plus précisément nous nous intéressons aux capacités de représentation interactive sous forme de graphiques ou de dessins d'un phénomène physique.

Enseignement cognitif

Les objectifs pédagogiques se divisent en trois grandes familles, le domaine cognitif, affectif et psychomoteur. Celui qui nous intéresse plus particulièrement s'adresse au développement de la structure de connaissance de l'élève, c'est le domaine cognitif. Ce développement se fait par la maîtrise d'habiletés intellectuelles de base, par la mémorisation de faits et l'élaboration de concepts et de généralisation. Nous préciserons le champ d'intervention de notre robot pédagogique en retenant principalement les objectifs se rattachant aux modèles de traitement de l'information. Ces derniers, comme le souligne Saint-Onge (1983), visent l'acquisition de connaissances par l'analyse de données fournies par l'environnement. La poursuite de ces objectifs a pour but le développement intellectuel. Joyce et Weil (1972)[3] les définissent comme "... les façons dont les gens saisissent les stimuli provenant de l'environnement, organisent les données, perçoivent les problèmes, génèrent des concepts et solutions aux problèmes, et utilisent les symboles verbaux et non-verbaux". Ainsi, les psychologues du traitement de l'information définissent leur champ d'étude comme étant la manière dont l'être humain recueille, emmagasine, modifie et interprète l'information de l'environnement (Herman 1992). Comme l'écrit Saint-Onge (1983), cette notion de modèle mental de la réalité est au

[3] Traduction libre

centre du point de vue cognitif. Si l'enseignement vise à influencer et à aider à l'élaboration de ce modèle mental, sorte de représentation interne de la réalité qui dirige l'activité de l'étudiant, il doit tenir compte du processus d'élaboration de celui-ci. Le point de vue cognitif tient compte de l'ensemble des processus mentaux qui transforment l'apport sensoriel de diverses façons, le traduisent en un code, l'entreposent en mémoire et le récupèrent plus tard. Ici notre robot pédagogique, en enrichissant cet environnement sensoriel par des représentations icôniques et symboliques devrait être un support externe à ce processus d'entreposage et de récupération.

Selon Gagné cité par Brien (1981), l'information se transmet de la façon suivante:

> "La stimulation produite par l'environnement de celui qui apprend affecte ses récepteurs et rejoint le système nerveux par la mémoire sensorielle; l'information est codée dans la mémoire sensorielle, ce qui signifie qu'elle a la forme d'une représentation structurée du stimuli initial. La persistance dans la mémoire sensorielle est d'une fraction de seconde. Lorsque l'information entre dans la mémoire à court terme (mémoire de travail), elle est codée sous forme conceptuelle et y est traitée par répétition. La persistance dans la mémoire à court terme est de quelques secondes. Un traitement important de l'information intervient alors: le contrôle de l'exécution et l'expectative; ce sont des processus qui permettent de déterminer comment est l'information lorsqu'elle entre dans la mémoire à long terme. Ensuite l'information entre dans la mémoire à long terme où elle est emmagasinée. Lorsqu'un nouvel apprentissage dépend du rappel d'une entité qui a déjà été apprise, cette entité doit être retirée de la mémoire à long terme pour entrer dans la mémoire à court terme. L'information passe alors dans un générateur de réponses qui a pour fonction de transformer l'information en action. Le message neurologique de cette structure affecte les effecteurs, produisant ainsi une performance qui affecte l'environnement de celui qui apprend. L'information a été traitée et le sujet l'a apprise."

La mémoire à court terme serait selon Bower (1975) "la partie active du traiteur central qui garde les symboles à la disposition de l'attention et du traitement conscient". La mémoire à court

terme traite l'information, la transforme, pour ensuite l'emmagasiner dans la mémoire à long terme. Cette mémoire est le siège des activités cognitives courantes telles que la lecture, la prise de décision et la résolution de problèmes. Les formes de représentation de la connaissance ont pour but de libérer la mémoire à court terme en minimisant son effort de rétention, d'emmagasiner les informations dans la mémoire à long terme et d'entrer de nouvelles connaissances. Comme l'a démontré Denis (1982), on peut améliorer l'activité cognitive en diminuant la charge d'informations contenues dans la mémoire à court terme en employant une représentation imagée. Les graphiques et dessins fournis par l'écran de l'ordinateur ou l'imprimante d'un système de robotique pédagogique deviennent un support externe à la mémoire à court terme, la libérant ainsi d'une charge inutile et lui permettant de se consacrer plus activement au traitement d'autres informations. De plus, toutes les informations qui ont été traitées préalablement par l'ordinateur pour les simplifier et les rendre plus accessibles à l'apprenant, nécessiteront un traitement moins important dans la mémoire à court terme. Elles pourront ainsi être traitées plus facilement et finalement être assimilées par la mémoire à long terme plus rapidement.

Ainsi, une fois l'information codée elle est emmagasinée dans la mémoire à long terme. Dans cette dernière se retrouvent toutes les connaissances d'une personne, tout ce qu'elle sait. La quantité et la qualité de la connaissance emmagasinée ainsi que la capacité à se les rappeler sont déterminées par la qualité du système de classement et d'organisation des connaissances. La nature de chaque information est déterminée par la forme du traitement cognitif effectué sur le concept. Plus le traitement sera de qualité, plus l'information enregistrée sera élaborée.

Tardif (1992) précise que le fait qu'une connaissance procédurale soit automatisée libère de l'espace dans la mémoire de travail permettant ainsi à la personne d'être disponible pour traiter d'autres informations. Nous pensons que cette opinion de Tardif serait d'autant plus vraie si cette connaissance procédurale a été acquise dans l'action, au contact direct du phénomène, comme la marche ou toute autre activité motrice. Il ajoute que le schéma semble être la représentation la plus vraisemblable des connaissances dans la mémoire à long terme. Cette schématisation doit de façon générale être construite par la mémoire de travail, un système d'enseignement automatisé générant cette représentation schématique libérerait donc la mémoire de travail de cette tâche pour lui permettre

de se consacrer à d'autres tâches. De plus, le schéma fourni par le système d'enseignement sera sans aucun doute mieux conçu et plus complet que celui que l'apprenant aurait imaginé de façon spontanée, ce dernier n'étant qu'à l'étape d'apprentissage du phénomène à l'étude. Cette représentation plus formelle fournie par un schéma de qualité devrait favoriser une meilleure intégration de ces nouvelles connaissances dans la mémoire à long terme. Il permettrait à tout le moins de donner un schéma uniforme à l'ensemble des apprenants ce qui est généralement souhaitable au plan didactique.

Inspiré par d'autres chercheurs (Rumelhart 1981, Rumelhart et Ortony 1977) qui parlent de schéma pour décrire l'organisation des connaissances dans la mémoire. Tardif (1992) écrit:

> "Il faut se rappeler que le schéma dans la mémoire à long terme est une structure servant au traitement des informations, à la construction des connaissances ainsi qu'à leur réutilisation et que sa force de traitement est énorme. La problématique principale de l'enseignement concerne toujours l'organisation des connaissances de sorte qu'elles soient intégrées de façon significative dans la mémoire à long terme et qu'elles soient très facilement réutilisables au besoin. Les interventions axées sur l'organisation des connaissances en schémas constituent une excellente stratégie pour éviter que les connaissances dans la mémoire à long terme demeurent inertes parce que l'élève est incapable de les rappeler dans sa mémoire de travail en raison de leur isolement."

Nous considérons que notre robot pédagogique utilisé comme outil de laboratoire peut influencer de façon importante l'élaboration du modèle mental de la réalité et qu'elle peut intervenir de façon très positive dans toute la démarche du traitement de l'information. La contribution de ce système laboratoire s'exerce d'abord en facilitant à l'élève l'appréhension de l'information en soulageant sa mémoire à court terme et en lui donnant un cadre plus propice à conserver, sous forme de schème d'action, l'information. C'est surtout par ses capacités de représentation sous forme d'images, de graphiques et de diagrammes qu'un laboratoire robotisé prend son intérêt. Gagné (1976) affirme que l'image facilite la codification de l'information, que l'image peut être emmagasinée sous forme de représentation mentale au lieu de concept défini, que le diagramme peut être utilisé pour

codifier un concept abstrait et que le diagramme aide à l'emmagasinage, au repérage et au retrait des informations. Il affirme également que l'image utilisée comme média favorise la phase d'acquisition lorsqu'elle est utilisée pour représenter une action ou une série d'événements successifs, elle aide à la compréhension et à l'emmagasinage de l'information. Des recherches ont démontré l'efficacité particulière de telles images comme stimulant à la codification. (Brandford et Johnson, 1972; Paivio 1971, cités dans Gagné 1976)

Lindsay et Norman (1980) ajoutent:

> "Le fait de conserver une certaine réplique visuelle de l'information originale donne beaucoup de souplesse à la capacité de répondre ultérieurement à des questions portant sur nos expériences."

Gagné traite également de l'intérêt d'un message télévisé dans la phase d'acquisition des connaissances. Nous le citons en nous référant à l'analogie entre l'écran d'un ordinateur et l'écran du téléviseur. Il écrit:

> "Les émissions télévisées peuvent assumer avec beaucoup d'efficacité les fonctions de codification. Elles peuvent faire voir une multitude d'objets et présenter de nouveaux concepts de façon concrète. Elles peuvent présenter plusieurs types de diagrammes dont ceux à parties mobiles. Évidemment elles peuvent illustrer des événements réels ou dramatisés, fournissant ainsi des systèmes exceptionnellement stimulants pour la codification des concepts et des règles qui doivent être apprises."

Nous partageons l'affirmation de Nonnon (1986) lorsqu'il écrit:

> "En utilisant un support externe à la mémoire, nous nous trouvons à libérer la mémoire de travail et optimiser ainsi le traitement de l'information."

Paivio (1979) a effectivement démontré que les informations sont mieux conservées à travers des activités d'imageries dans lesquelles les données sont présentées sous forme visuelle. Pour sa part, Nonnon (1986) propose l'utilisation de l'écran de l'ordinateur comme support externe à la mémoire pour conserver les informations sous forme graphique. Il propose également l'utilisation de la représentation graphique comme outil de recherche et de communication des informations. Il suggère de profiter des multiples avantages de l'ordinateur pour offrir simultanément l'expérience directe de la réalité et la représentation de la réalité expérimentale.

Toute information qui sera éventuellement traitée est initialement acquise par l'observation. Plus exactes et plus importantes sont nos observations, plus précise sera l'information avec laquelle nous aurons à travailler pour développer notre modèle mental de la réalité. Afin d'obtenir un ensemble d'éléments fiables, sur lequel on pourra s'appuyer, il est nécessaire de recourir aux méthodes de cueillette de données les plus efficaces et de les utiliser dans des situations suffisamment signifiantes. Comme le note Giordan et De Vecchi (1987):

> "Certains pensent que les représentations sont évidentes, que leur découverte peut être immédiate...; cette hypothèse nous semble trop forte. Les conceptions sont des modèles explicatifs sous-jacents, et non uniquement leur émergence; de ce fait, on sent bien que les mettre en évidence peut ne pas être aussi simple; en effet il faut les inférer à partir d'affleurements parfois parcellaires et même quelques fois contradictoires. Cela ne peut être réalisé qu'en utilisant une combinatoire de méthodes, permettant seule de fournir un nombre d'informations suffisantes".

La robotique pédagogique permet de faire surgir rapidement toutes les informations pertinentes provenant d'une situation expérimentale, et c'est l'élève qui, à partir de ses représentations peut commander telle ou telle expérimentation de manière à découvrir l'interaction ou l'effet de telle variable sur telle autre.

Prenons l'exemple du système de réfrigération, chacune des manipulations que comportent les exercices en laboratoire suppose d'abord que des mesures de température et de pressionsoient

prises à divers endroits du système dans le fonctionnement duquel l'étudiant doit intervenir. Dans la plupart des cas une transformation mathématique des résultats de ces prises de mesures est nécessaire pour traduire les données obtenues dans une forme plus utilisable. Ces mesures peuvent, bien entendu, être prises avec une instrumentation aussi simple qu'un manomètre et un thermomètre. Cependant, l'évaluation de l'état liquide ou gazeux du réfrigérant, préalable à l'intervention dans le système, ne peut alors se faire qu'à partir de l'expérience de l'observateur ou par un calcul mathématique complexe. Obtenir dans ces conditions des résultats précis à analyser, cela présente un degré de difficulté trop avancé pour le débutant. En effet, celui-ci doit observer les variables de pression, de température et les changements d'état à plusieurs endroits du système et le tout en interaction.

La robotique pédagogique peut faciliter le cheminement d'apprentissage de l'étudiant. Elle permet de le libérer des tâches préalables à caractère manuel (prises de mesures) et mathématique (transformation des résultats obtenus), pour lui permettre de se concentrer sur l'analyse du fonctionnement du système. L'étudiant peut ainsi réaliser un nombre beaucoup plus important d'expériences qui contribuent à concrétiser et à ancrer en lui-même l'organisation de ses connaissances théoriques.

Le support à fournir à l'étudiant dans son cheminement doit non seulement le libérer de certaines tâches mais lui faciliter la compréhension du déroulement du cycle de la réfrigération dans toute sa complexité. L'étudiant doit parvenir à visualiser le système en activité, c'est-à-dire au niveau des multiples interactions des variables affectant l'état du réfrigérant tout au long du cycle, et des variations des valeurs de ces variables. Il ne s'agit pas seulement de décrire ce qu'il advient de telles variables mais de saisir la dynamique de toutes les variables, en tout point et tout au long du cycle. Or, ces aspects évolutifs et interactifs des variables et de leurs valeurs sont impossibles à saisir sensoriellement. Ils se manifestent dans les transformations d'état du réfrigérant en circulation à l'intérieur des conduits du système, et le tout est entièrement scellé dans une enveloppe métallique. La robotique pédagogique permet, par ses capacités de cueillette et de transformation des données, l'appropriation de toutes ces informations et leur représentation didactique.

La robotique pédagogique permet de fournir des modèles explicites qui structurent l'interaction de divers éléments constitutifs des phénomènes étudiés. Elle illustre l'organisation des divers éléments par des schémas et des dessins où les liens sont rendus explicites. Ainsi la robotique pédagogique favorise un meilleur classement et une meilleure organisation des connaissances dans la mémoire à long terme.

Le système de robotique pédagogique a un rôle majeur à jouer dans l'organisation des connaissances de l'apprenant. Celui-ci identifiera les diverses relations que les éléments entretiennent entre eux. Ce rôle est très important. Tardif et Désilet (1991) sont d'avis que: "D'une part l'organisation des connaissances permet à l'élève de traiter significativement les informations présentées pour les intégrer dans sa mémoire à long terme. Il y a donc accroissement des probabilités d'acquisition de connaissances. D'autre part, l'organisation des connaissances dans la mémoire permet qu'elles soient réutilisées fonctionnellement. Il y a donc accroissement des probabilités de transfert des connaissances".

Nous pouvons donc dire que la robotique pédagogique justifie son intérêt par rapport aux fondements psychologique de l'enseignement cognitif par son rôle actif dans les diverses phases du traitement de l'information. Ainsi, lors de la collecte des données, elle permet de recueillir toutes les informations et de les mettre en relation. Ces informations plus pertinentes et plus complètes pourront ainsi être traitées dans la mémoire à court terme plus facilement et plus rapidement, libérant cette mémoire pour les activités cognitives courantes telles que la prise de décisions et la résolution de problèmes. De plus, le fait que ces informations soient au départ mieux structurées, influenceront automatiquement la qualité du système de classement et d'organisation des connaissances qui sont emmagasinées dans la mémoire à long terme. Nous pouvons déduire du modèle Gagné (1976) que ces caractéristiques influencent la capacité à se rappeler ces connaissances.

Ainsi, la robotique pédagogique utilisée comme outil de laboratoire nous semble être une aide appréciable dans le processus psychologique du traitement de l'information.

La représentation imagée et graphique

Plusieurs auteurs (Cloutier, 1973, Giordian, 1983, Nonnon 1987, Piavio, 1979, Denis, 1984, Piaget, 1980, Cartier, 1989) nous fournissent une littérature traitant des sujets qui nous intéressent. Ils nous aideront à développer un outil qui, par la représentation graphique, saura maximiser l'aspect cognitif de l'imagerie. Les travaux de ces auteurs nous aideront à mieux utiliser l'imagerie mentale comme support à la mémoire et la représentation graphique comme support à l'activité d'apprentissage et à l'activité d'analyse.

Définie comme la capacité d'un stimulus à évoquer une activité de représentation imagée, l'imagerie s'est révélée comme une variable extrêmement efficace dans la plupart des tâches d'apprentissage (Denis 1975).

Dans des systèmes fermés inaccessibles visuellement, on peut penser que d'ajouter des éléments sensoriels facilitant une représentation imagée serait très avantageux. Denis (1989) nous le confirme:

> "Les images visuelles possèdent des propriétés fonctionnelles. Elles possèdent également des propriétés structurales qui les constituent en figures reflétant authentiquement, au plan cognitif, les caractéristiques spatiales des objets qu'elles évoquent. On conçoit que le "réalisme" des images puisse être tenu pour un facteur important de leur efficacité fonctionnelle dans certaines conduites, dans la mesure où elles fournissent des modèles manipulables de la réalité lorsque cette dernière n'est pas directement accessible à l'individu."

Plusieurs expériences réalisées par différents chercheurs ont démontré que l'activité de représentation imagée facilite la résolution de problèmes:

> "l'utilisation intentionnelle d'une stratégie d'imagerie est généralement favorable à la résolution de problèmes et au développement du raisonnement." (Denis 1989)

De manière générale et plus particulièrement dans les applications relatives à cette recherche, Denis (1989), nous confirme que la représentation imagée servira de guide à l'action:

> "Tout en assurant pleinement son rôle de représentation, elle constitue en même temps un guide pour l'action et un instrument d'acquisition d'habiletés utilisables dans l'action."

Nous devons donc conclure que l'activité d'imagerie peut devenir un outil très intéressant à utiliser dans les stratégies de résolution de problèmes. Même si la représentation imagée n'est pas construite par l'observation directe de cette réalité, mais plutôt avec des schémas ou dessins et des graphiques représentant celle-ci, sa capacité à illustrer de manière symbolique les interactions de variables qu'on ne pourrait appréhender ou percevoir autrement, fournit un modèle visuel de cette réalité assurant ainsi une transition entre un phénomène non observable et un phénomène observable directement. Cette transition nous rapprocherait didactiquement d'un enseignement concret.

Le graphique constitue un instrument d'analyse des plus efficace. Il permet de synthétiser les informations recueillies et de les présenter à l'utilisateur d'une manière claire et concise. L'étude de la réfrigération implique l'analyse de plusieurs variables interdépendantes qui évoluent en fonction du temps. La représentation graphique, offerte par l'ordinateur, permet à tout moment, l'observation de ces variables l'une par rapport à l'autre. Le langage graphique permet d'organiser l'information et ainsi il permet d'offrir une visualisation simplifiée.

Nonnon (1986) propose également la représentation graphique comme un support externe à la mémoire:

> "la représentation graphique devrait être une aide efficace au raisonnement puisque, selon nous, son mode d'appréhension plus direct et plus englobant permet le soulagement de la mémoire à court terme."

On peut donc résumer en disant que l'ordinateur permettra une visualisation plus symbolique et plus complète du phénomène en temps réel, en nous fournissant des images illustrant des aspects

non visualisables des phénomènes étudiés. Il simplifiera également l'analyse du système en fournissant des graphiques simples et complets.

Le volet de l'utilisation pédagogique de l'ordinateur a été développé par plusieurs auteurs, dont Wilkinson (1982) et Chevrier (1985) qui en traitent de façon fort intéressante. Nonnon (1986) nous transmet des informations très pertinentes dans un ouvrage sur la robotique pédagogique. Nous nous attarderons surtout à l'aspect de l'utilisation de l'ordinateur comme outil de laboratoire pour le contrôle et la conduite d'expériences de laboratoire. En plus, nous nous intéresserons au concept de "Lunette cognitive" développé par Nonnon (1986) qui permet une connexion entre un phénomène réel et une représentation symbolique de ce phénomène. Ce concept permet de réduire la "distance" entre l'action expérimentale et sa représentation graphique. Cette idée pédagogique permet à l'élève une assimilation directe de cette représentation. Cette connexion est rendue possible grâce à l'utilisation du micro-ordinateur. Celui-ci fonctionne en mode de contrôle de procédé pour le contrôle du déroulement expérimental. Il possède également un écran graphique, asservi au déroulement, où se trace, en temps réel, la représentation de l'évolution des différentes variables.

On peut donc dire qu'un tel système de laboratoire informatisé présente un avantage certain pour la compréhension, par l'étudiant, des interactions multiples impliquées dans le processus de réfrigération. De plus il nous donne une base solide pour faire acquérir des représentations symboliques aux élèves, nous montrant que l'observation de la réalité physique aussi simple que le déplacement d'un petit train, n'est pas suffisante pour appréhender cette réalité, que le recours au graphique est nécessaire pour appréhender les interactions des variables. A fortiori, dans notre recherche, lorsque cette réalité est non "visualisable" le recours aux représentations symboliques est encore plus nécessaire puisqu'il est la seule façon que l'on a d'appréhender le phénomène. C'est le seul moyen fourni à l'étudiant pour l'aider à se construire une image mentale du phénomène. En effet, lorsque l'étudiant ne possède aucun référant visuel, il lui est alors très difficile d'imaginer le phénomène. Le traitement de l'information serait alors ralenti puisqu'il exigerait un effort très important de la mémoire à court terme qui devrait construire une représentation imagée du phénomène. Celle-ci pouvant se faire par analogie à un phénomène connexe.

Considérations techniques

Nous préciserons d'abord qu'il importe peu que le système technologique utilisé soit le plus perfectionné, notre recherche s'axant sur le plan didactique, nous voulons principalement démontrer que la démarche proposée est réaliste. Cette démonstration nous comptons la faire avec du matériel existant et surtout disponible. L'originalité de cette recherche, au plan technologique, repose plus sur la combinaison des différentes parties, le système de réfrigération et les différentes composantes de l'environnement informatisé que sur la qualité de ses différentes composantes comme dans une recherche de type industriel. Nous expliquerons donc pour le bénéfice du lecteur le fonctionnement du système de réfrigération, puis, nous discuterons de l'équipement informatisé ainsi que de l'interface (automate programmable) reliant l'ordinateur et le système de réfrigération.

Description d'un système de réfrigération

Nous allons ici décrire brièvement ce qu'est un système de réfrigération et quels sont ses principaux composants. Cette description devrait aider le lecteur à comprendre la terminologie technique spécialisée qui sera utilisée dans le texte.

Le phénomène à la base d'un système de réfrigération est l'évaporation d'un liquide et la chaleur absorbée par ce changement de phase. En effet, il est nécessaire de fournir de la chaleur pour permettre l'évaporation de l'eau, cependant, le liquide utilisé en réfrigération possède une température d'ébullition beaucoup plus basse que celle de l'eau, elle est approximativement de -30°C pour le réfrigérant utilisé dans notre système. Ce réfrigérant s'évaporera donc à la température de la pièce en absorbant la chaleur de cette pièce celle-ci étant supérieure à sa température d'ébullition. Il y aura donc diminution de la température, ou génération de froid. Ce phénomène d'évaporation du liquide réfrigérant provoquant l'absorption de chaleur où la génération de froid se produit dans des tuyaux, la section de ceux-ci où se produit l'évaporation s'appelle évaporateur. Puisque nous désirons récupérer le réfrigérant évaporé et que ce dernier est maintenant en vapeur, il est nécessaire de modifier sa pression et ainsi changer à la hausse sa température d'évaporation. Un compresseur récupérera donc les vapeurs de réfrigérant et les compressera à une haute pression (800 Kpa). A

cette pression la température d'ébullition du réfrigérant est d'approximativement de 100°C, puisque la température de la pièce est inférieure, le réfrigérant se condense restituant la chaleur qu'il a absorbée en s'évaporant. Cette condensation se fait dans le condenseur.

La figure 7 illustre un système de réfrigération et ses principaux composants. Les flèches indiquent le trajet parcouru par le réfrigérant.

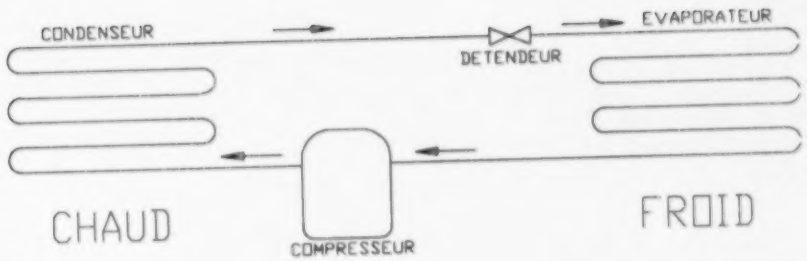


Figure 7

Système de réfrigération

Plus spécifiquement, un système de réfrigération de base comprend au moins quatre composants essentiels. Ces composants sont: l'évaporateur, le condenseur, le compresseur, le détendeur et le liquide réfrigérant (fréon). La partie absorbant la chaleur ou en d'autres termes celle qui génère du froid est l'évaporateur. Dans un réfrigérateur domestique l'évaporateur se retrouve toujours à l'intérieur de l'appareil. L'évaporateur s'appelle ainsi puisque l'évaporation se produit dans ses conduits; on dira plus spécifiquement que le réfrigérant (fréon) y passe de l'état liquide à l'état gazeux. Le condenseur restitue la chaleur absorbée par l'évaporateur, il est donc chaud et il doit être refroidi. Dans le système que nous utilisons le condenseur est refroidi par un ventilateur électrique. On le nomme condenseur parce que le réfrigérant s'y condense, c'est-à-dire qu'il y passe de l'état gazeux à l'état liquide. Le compresseur provoque une augmentation de la pression du réfrigérant; cette dernière est nécessaire afin de permettre au réfrigérant de se condenser dans le condenseur. Le détendeur quant à lui sert à régulariser la circulation du réfrigérant dans le circuit, c'est une vanne qui s'ouvre ou se ferme en fonction des besoins de l'évaporateur.

Nous allons maintenant décrire le trajet du réfrigérant en commençant par l'évaporateur. Le réfrigérant entre dans l'évaporateur sous forme liquide à basse pression et à basse température. Tout au long de son passage dans les conduites de l'évaporateur, le réfrigérant absorbe de la chaleur, ce qui provoque son évaporation; la chaleur extraite du milieu environnant provoque une baisse de température de ce dernier. A la sortie de l'évaporateur, le réfrigérant est complètement évaporé. Il est donc sous forme de gaz et toujours à basse pression mais sa température est légèrement relevée puisqu'il a absorbé de la chaleur. Puis, le réfrigérant est aspiré par le compresseur. Il en ressort à haute pression et cette augmentation de pression provoque une augmentation de sa température d'ébullition. Il doit donc se condenser et restituer la chaleur absorbée dans l'évaporateur. Il se retrouve donc très chaud. A la sortie du compresseur le réfrigérant entre dans le condenseur, il y sera refroidi par l'air venant du ventilateur et pourra ainsi se condenser. En effet, en augmentant la pression on modifie, par le fait même, le point d'ébullition d'un liquide. Donc le compresseur en ayant augmenté la pression du réfrigérant, en a modifié sa température de condensation, la ramenant à celle de l'air ambiant; le réfrigérant peut donc se condenser. A la sortie du condenseur le réfrigérant, sous forme liquide, passe dans le détendeur et retourne dans l'évaporateur pour reprendre le même cycle.

Le système de réfrigération qui sera utilisé pour la construction de notre prototype sert au fonctionnement d'une patinoire miniature. Ce système permettant la fabrication d'une glace est légèrement plus complexe qu'un système de base. En effet, ce dernier comprend, en plus des composants énumérés précédemment, un circuit de réfrigération secondaire possédant un échangeur et une pompe circulatrice. Dans notre système de patinoire l'évaporateur est une partie de l'échangeur et sert à refroidir le réfrigérant secondaire qui est du glycol. C'est ce dernier qui circulera sous la glace de la patinoire par l'action d'une pompe circulatrice et lui permettra de conserver sa basse température.

Description des composants de l'environnement informatisé

L'environnement informatisé du système-laboratoire que l'on veut développer sera constitué d'un ordinateur, d'une imprimante et d'un automate programmable qui agira comme interface entre l'ordinateur et le système de réfrigération. Cet automate possède un logiciel de contrôle servant à la régulation des opérations du système de réfrigération ainsi qu'un logiciel d'animation permettant la conception de dessins et graphiques interactifs.

L'aspect technique des automates et de leurs logiciels est développé par plusieurs auteurs, Michel (1988), Bryan (1988) nous fournissent toutes les informations techniques dont nous aurons besoin pour cette recherche. Michel (1988) distingue trois fonctions différentes d'un automate programmable industriel: la surveillance, le mode guide-opérateur et la commande. Dans sa fonction de surveillance, l'organe de contrôle acquiert des informations, les analyse et les traduit sous formes diverses. Le mode guide-opérateur complète le précédent par des traitements plus élaborés et propose à l'utilisateur des actions pour conduire correctement le procédé. La commande correspond à l'automatisation complète de certaines fonctions; l'homme est ici exclu de la prise de décision. Dans notre application la fonction commande servira surtout pour gérer les conditions ayant un certain potentiel de danger. Par ailleurs, le logiciel d'animation fonctionne en temps réel et est de type multitâches. Il peut traiter plusieurs données simultanément et afficher ces dernières dynamiquement à l'écran. Michel (1988) définit ce type de logiciel de la façon suivante:

"Un logiciel de définition de très haut niveau, complété d'une librairie de schémas, de symboles et de caractères, permet à l'utilisateur non informaticien de définir précisément les images dynamiques et en couleur qui représenteront le synoptique et l'évolution du procédé avec restitution des paramètres significatifs."

Un logiciel d'animation permet de réaliser des animations à l'écran. Plus spécifiquement pour nous, il s'agira des logiciels d'animation qui ont été développés pour des automates programmables industriels. Ces logiciels permettent une communication en temps réel entre l'automate et un micro-ordinateur. Ils nous permettent de dessiner à l'écran le système que nous désirons contrôler et d'y indiquer toutes les lectures mesurées par les capteurs. A partir du micro-ordinateur, il est également possible d'opérer des modifications au système contrôlé, de changer l'ajustement des points de consigne ou de modifier toute autre variable.

Nous pourrons donc, grâce à ce logiciel, contrôler le fonctionnement du système de réfrigération. De plus, nous pourrons concevoir des dessins, icônes et graphiques qui illustreront le système en fonctionnement et qui permettront de visualiser certains aspects qui ne pourraient l'être autrement

L'interface que nous utiliserons pour établir le lien entre le système de réfrigération et l'ordinateur sera un automate programmable de type industriel. Un automate programmable est un système de régulation conçu principalement à partir d'un micro-processeur. Il possède plusieurs entrées et sorties, de quelques-unes à quelques milliers. Chaque entrée peut recevoir le signal d'un capteur qui lui fournit l'état d'une variable qu'il mesure. Cette variable peut être n'importe quel paramètre mesurable: la température, l'humidité, la lumière, le bruit, la distance; presque tout peut être mesuré. Chaque sortie agit sur un actionneur, qui à son tour, commandera l'opération d'un dispositif quelconque. Toute la logique contrôlant les interactions entre les entrées et les sorties est énoncée dans un programme informatisé. Comme dans tout programme de ce type, il est possible d'y inclure des conditions, de compter des événements ou de temporiser les opérations. Ces appareils sont très souples à l'utilisation ce qui permet de les employer dans plusieurs applications.

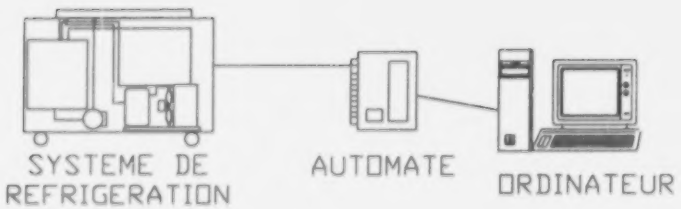


Figure 8

Insertion d'un automate programmable entre le
système de réfrigération et l'ordinateur

Un automate programmmable industriel ou A.P.I. est un automate programmable tel que défini précédemment; sa caractéristique est qu'il est fabriqué en série et distribué à grande échelle. Il n'a pas été conçu pour une application spécifique. Il est fabriqué pour pouvoir s'adapter à un maximum de besoins. Grâce à sa programmation simple, il est possible de l'adapter à presque toutes les applications. C'est un appareil conçu surtout pour l'industrie. Sa grande flexibilité nous permet aussi

de l'utiliser en éducation. L' A.P.I. que nous avons sélectionné est le modèle AC8 de la compagnie Andover.

L'environnement pédagogique informatisé à développer sera interactif. Il nous apparaît important de bien définir ce que nous entendons par ce terme. Legendre (1988) définit le terme interactif comme suit:

> "Qualifie les matériels, les programmes ou les conditions d'exploitation qui permettent des actions réciproques en mode dialogue avec des utilisateurs, ou en temps réel avec des appareils."

Cette définition est sensiblement celle que nous utiliserons en ajoutant entre ces actions réciproques des étapes d'interprétation et d'analyse. Nous la compléterons en précisant que dans cette recherche l'interaction se fera à deux niveaux. Le premier est celui qui existera entre l'ordinateur et le système étudié. Puisque l'ordinateur en passant par l'automate communiquera constamment avec le système de réfrigération, il y aura interaction. Cette interaction sera dans les deux sens, c'est-à-dire que l'ordinateur transmettra des consignes au système et que ce dernier transmettra des informations au micro-ordinateur. L'interaction existera également entre l'ordinateur et l'utilisateur, par l'intermédiaire de son écran et de son clavier. Cette interaction sera également à double sens. Le tou`e fera de même en temps réel.

Ainsi, un automate programmable associé à un logiciel de conception d'animation graphique va constituer la base technique pour la conception de notre système laboratoire.

Considérations didactiques

Dans cette section nous étudierons, en première partie, la relation existant entre la démarche systémique de résolution de problèmes et le schème de contrôle des variables. Un des objectifs de notre système est de développer chez nos étudiants, les aptitudes à la résolution des pannes du système de réfrigération. Il nous semble important de bien faire le lien existant entre le schème de contrôle des variables et la démarche systémique de résolution de problèmes. Le schème de contrôle des variables est un des fondements de notre système. Comme préalable nous discuterons de l'acquisition d'un langage symbolique et graphique comme outil cognitif favorisant l'acquisition de la démarche systémique de résolution de problèmes. En seconde partie nous ferons une brève comparaison entre l'approche didactique déductive d'un simulateur et l'approche didactique inductive d'un robot pédagogique.

La démarche systémique

La démarche systémique est, selon De Rosnay (1975), une nouvelle méthode d'organisation des connaissances visant à rendre l'action plus efficace. Elle englobe non seulement la totalité des éléments d'un système donné, mais aussi les liens qu'ils entretiennent. Les tenants du paradigme systémique affirment, comme l'explique Ouellet (1987), que:

"connaissance devient aujourd'hui représentation, modélisation du réel. Dans ce sens, connaître ne veut plus dire seulement faire une analyse cartésienne mais percevoir. En d'autres mots, saisir le modèle de fonctionnement d'un phénomène au lieu de le réduire

à ses composantes, articuler les éléments du phénomène pour en comprendre le fonctionnement au lieu de le décomposer en ses éléments".

La résolution de pannes

Deforge (1970) décrit la détection des pannes par les trois étapes suivantes: faire des constatations certaines, émettre des hypothèses et en contrôler la validité. Cette description, très générale, est applicable à la résolution de tous les problèmes. Deforge (1970) la compare d'ailleurs avec le processus médical, il constate que l'analogie est flagrante. La recherche de pannes s'appuie sur des données technologiques mais aussi sur une méthodologie générale de la recherche. Nous pouvons donc considérer que la démarche systémique de recherche de pannes est une démarche générale de résolution de problèmes appliquée à la technologie.

Le schème de contrôle des variables

Un schème est, selon Piaget (Rathus, 1985), une structure mentale hypothétique qui permet la classification et l'organisation de nouvelles informations, c'est un moyen de regarder ou de se représenter le monde. Le schème de Piaget peut être associé à un concept (Rathus, 1985).

Legendre-Bergeron (1980) précise que: "La notion de schème d'assimilation est centrale dans la théorie piagétienne. Elle ne désigne pas une action particulière mais

la structure générale commune aux actions pratiques ou représentatives que le sujet exerce sur les objets. Le schème, en tant que structure d'une action, se caractérise plus particulièrement par le fait qu'il se conserve au cours de ses répétitions, qu'il se consolide par l'exercice et qu'il tend à se généraliser au contact du milieu, donnant ainsi lieu à des différenciations et à des coordinations variées. D'où l'apparition de nouvelles conduites qui s'élaborent à partir des schèmes initiaux et de leurs intégrations adaptatives avec le milieu". Par ailleurs, Demers (1982) parle du schème expérimental qu'il décrit comme une stratégie à utiliser pour atteindre les trois objectifs suivants: faire varier les variables indépendantes, contrôler tous les autres facteurs, et mesurer les variables dépendantes.

Ainsi, nous pouvons dire que le schème de contrôle des variables est une forme du schème d'assimilation adaptée au milieu scientifique. Ils sont tous deux des instruments de connaissance dont dispose le sujet pour comprendre et interpréter la réalité extérieure. La construction de ces nouveaux schèmes est à la base même du développement des structures de l'intelligence.

En fait, le schème de contrôle des variables est une structure mentale permettant de vérifier l'effet spécifique d'une variable en fonction d'une autre lors de l'étude d'un phénomène quelconque. Par exemple, pour expliquer le concept de vitesse, il est nécessaire d'étudier la variation de la distance en fonction du temps. Ce schème peut être considéré comme une stratégie cognitive.

Démarche systémique de résolution de problèmes et schème de contrôle des variables

Comme nous l'avons déjà dit, la démarche systémique de résolution de problèmes se rapproche beaucoup du schème de contrôle des variables. Une démarche systémique de résolution de problèmes comporte trois grandes étapes, la représentation du problème, le transfert des connaissances et habiletés et l'évaluation de l'adéquation des solutions. Le schème de contrôle de variables classique comporte également trois grandes étapes qui sont assimilables à celles de la résolution de problèmes.

La démarche systémique de résolution de problèmes peut, selon Gagné, se décrire ainsi (St-Onge, 1990):

1. - LA PRÉSENTATION DU PROBLEME
    - L'identification des données
    - L'établissement de critères de solution
    - La détermination des contraintes liées aux tentatives de solution
    - La comparaison du problème avec les situations analogues rencontrées antérieurement
    - Le choix d'une stratégie
        - diviser le problème en sous-problèmes
        - construire un problème qui ignore certaines informations

2 - LE TRANSFERT

- Le rappel de faits et de procédures connues (est-ce que les procédures de solution découvertes dans d'autres domaines de connaissances sont applicables dans ce cas?)
- L'exploration d'indices présents dans l'environnement
- Le traitement des informations recueillies
- L'élaboration d'une solution potentielle

3 - L'ÉVALUATION

- La comparaison entre la solution et les critères établis (comparaison entre l'intervention inspirée par le diagnostique et l'effet de cette intervention sur le fonctionnement du système)
- Le choix d'une règle de décision de l'adéquation
- La décision de reprendre le processus, de considérer le problème résolu ou d'abandonner

Pour vérifier l'effet d'une variable indépendante, Nonnon (1986) identifie trois étapes principales: la préparation et l'exécution d'au moins deux expériences, la mémorisation des conditions et des résultats de la première expérience et finalement la comparaison de ces derniers aux conditions et résultats de la seconde expérience. Ces étapes d'un schème de contrôle des variables peuvent être traitées selon un modèle comparable à celui décrivant la démarche systémique de résolution de problèmes.

Les étapes de ce modèle sont les suivantes:

1 - L'EXPÉRIENCE

* L'identification des données
* La sélection des variables à étudier
* L'exécution des expériences

2 - LE TRANSFERT

* Le rappel de faits et de procédures connues (est-ce que le schème de contrôle des variables utilisé dans d'autres domaines de connaissance est applicable ici?)
* L'exploration d'indices présents dans l'environnement
* Le traitement des informations recueillies

3 - L'ÉVALUATION

* La comparaison des conditions et des résultats entre la première et de la deuxième expérience
* La généralisation des observations
* La décision de reprendre le processus, de considérer le problème résolu ou d'abandonner

L'analyse de ces deux démarches met en évidence une similitude importante dans les étapes de réalisation d'une résolution de problèmes et d'un schème de contrôle des variables.

Il est important de noter qu'en plus d'une similitude dans la démarche il existe un autre lien important entre la résolution de problèmes et le schème de contrôle des

variables. Ce lien est l'avantage de l'utilisation du schème à l'intérieur même de la démarche de résolution de problèmes. En effet, la représentation du problème, qui est la première phase de la résolution de problèmes, consiste en la construction d'une représentation de la situation problématique. Il faut d'abord établir quels sont les éléments en présence et quelles sont leurs interactions. On pourra ensuite se demander comment modifier ces interactions (St-Onge, 1990). La meilleure méthode pour bien comprendre les interactions ou l'effet spécifique de chacun de ces éléments est de les analyser en faisant varier un facteur à la fois tout en maintenant les autres constants. On voit donc ici l'analogie entre l'utilisation du schème de contrôle des variables en sciences et la solution d'un problème technologique comme la recherche de pannes.

Caillot et Dumas-Carré (1985) décrivent une phase de la résolution de problèmes d'un expert comme une analyse spatiale, temporelle et en terme d'interactions de la situation étudiée. Ceci confirme nos observations empiriques personnelles qui montrent que nos élèves n'appréhendent pas la résolution de problème comme les experts, ils ont une très mauvaise représentation de la situation décrite, ils ne semblent pas "voir" ce qui se passe ni au cours du temps, ni dans l'espace. En formation professionnelle, les élèves sont généralement confrontés à des objets techniques complexes qui sont souvent très peu transparents (visualisables), ce qui ne favorise pas le développement de représentations fidèles. La réfrigération est un exemple éloquent des problèmes de représentation provoqués par un système technologique. En effet le cycle de réfrigération comporte un nombre important de variables interdépendantes (pression, volume, température, état) et tout le système est entièrement scellé dans une enveloppe métallique. L'étudiant doit parvenir à se représenter le système en activité. Dans cette perspective il lui faudra analyser les multiples interactions des variables affectant l'état

du réfrigérant tout au long du cycle ainsi que les variations des valeurs de ces variables. Ensuite, l'analyse de l'effet spécifique de chaque variable sur les autres permet à l'élève de se construire une représentation de ces aspects évolutifs et interactifs de ces variables.

Nous pouvons dire que l'acquisition du schème de contrôle des variables, par l'analyse de chaque facteur en fonction du temps ainsi que des autres variables mène à une meilleure représentation de la situation décrite et favorise ainsi la résolution de problèmes.

St-Onge (1990) écrit: "Comme c'est la structure du problème lui-même qui commande la solution la plus facile, c'est la qualité des représentations que nous nous donnons qui détermine la rapidité avec laquelle nous arrivons à le résoudre". Il ajoute également "Il importe de fournir des modèles explicites qui structurent l'interaction de divers éléments constitutifs des phénomènes étudiés. Il ne suffit pas d'énumérer les éléments en présence, il faut illustrer leur organisation par des schémas où les liens sont rendus explicites". Le schème de contrôle des variables qui permet de vérifier l'effet spécifique de chacun de ces éléments est sans doute la stratégie cognitive qui permettra le mieux l'atteinte de cet objectif.

Ennever et Hallen (Vachon et al, 1991), s'inspirant d'une théorie cognitive, proposent un modèle axé sur le développement de l'esprit d'investigation scientifique. Le modèle qu'ils ont élaboré présente neuf habiletés qui doivent être développées dans le cadre de cette finalité. Le point de départ est l'observation, l'habileté visée est l'interprétation. Les auteurs insistent beaucoup sur l'importance de l'observation et de

l'interprétation dans le développement d'un esprit d'investigation scientifique. L'habileté d'observation y est décrite comme la capacité à classer et à comparer; l'habileté d'interprétation est définie comme plus complexe et faisant appel à plusieurs comportements. La capacité à identifier les facteurs susceptibles de causer un changement dans un système donné ou l'intention dans une expérience donnée (variables) est un de ces comportements que nous avons retenu puisqu'il fait directement appel au schème de contrôle des variables.

Rief (1984) a identifié sensiblement la même procédure générale de résolution de problèmes que celle que nous avons décrite précédemment. Il identifie également la première tâche importante comme la description du problème dans une forme qui soit facilement interprétable. Il propose l'utilisation des représentations symboliques pour décrire le problème ainsi que la description du processus proposé par le problème en des séquences explicitées ordonnées par rapport au temps. On constate encore ici l'importance du schème de contrôle des variables.

Aujourd'hui, la recherche montre qu'un enseignement axé sur l'organisation des connaissances a un effet clairement positif sur le développement de l'habileté de résolution de problèmes (St-Onge, 1990).

Une façon de rendre le schème de contrôle des variables signifiant et utile est de le considérer comme un savoir faire pour l'acquisition, en laboratoire, de stratégies cognitives au lieu de le considérer comme un concept ou un principe que l'on analyse en dehors de l'activité propre à la découverte de ceux-ci en laboratoire. L'étudiant doit développer ses propres stratégies spécifiques au domaine et ses propres méthodes de

résolution de problèmes. Ces savoirs faire procéduraux sont nécessaires à une bonne compréhension des phénomènes techniques complexes.

Nous pouvons donc dire que le schème de contrôle des variables utilise une démarche assimilable à la démarche systémique de résolution de problèmes et que l'utilisation de ce schème développe des savoirs-faire procéduraux transférables à la résolution de problèmes techniques.

On peut donc penser que l'utilisation de la représentation graphique illustrant le comportement d'une variable en fonction d'une autre favorise le développement des stratégies cognitives nécessaires à l'activité scientifique.

Le schème de contrôle des variables est un outil précieux pour l'enseignement des sciences et des technologies et un outil intellectuel nécessaire à la résolution de problèmes technologiques complexes.

John Naisbitt (St-Onge, 1990) soutient que "L'information n'est pas un substitut à la pensée" et que "...la pensée critique et l'habileté à résoudre des problèmes sont les plus importantes habiletés que nous puissions donner aux jeunes d'aujourd'hui". Notre objectif est de fournir un support à l'étudiant tout au long de sa formation pour qu'il parvienne à une compréhension progressivement plus personnelle et plus large des concepts et processus qui sont à la base de sa formation technologique. Il ne s'agit évidemment pas ici d'une compréhension uniquement théorique mais aussi appliquée. Nous devons former un étudiant capable, dès son entrée sur le marché du travail, de faire preuve d'un sens critique, capable d'innovation et suffisamment autonome dans sa

manière d'approcher et de concevoir les projets qui lui sont confiés et de chercher des solutions à des problèmes pratiques qui lui sont soumis. La maîtrise des concepts et processus, et le développement des capacités d'intervention dont il est question se développeront mieux par l'acquisition du schème de contrôle des variables.

Simulation versus robotique pédagogique

Définition de la simulation

La simulation telle que définie par Legendre (1988) permet une reproduction simplifiée et dynamique d'une situation réelle ou hypothétique à partir d'un modèle en vue d'étudier le comportement futur d'un système. La grande majorité des simulateurs que nous connaissons sont conçus pour favoriser une approche déductive des systèmes étudiés. En effet, comme l'illustre la figure 9, le simulateur permet une représentation de la réalité à partir de la théorie, il représente, le plus souvent, cette réalité à partir d'un modèle mathématique. L'approche déductive utilisée avec le simulateur permet à l'étudiant de vérifier le comportement d'un système en fonction des théories. Le simulateur peut habituellement reproduire le comportement futur d'un système en fonction de toute situation hypothétique que l'étudiant voudra bien lui fournir. Le simulateur permet, entre autre, une analyse du comportement d'un système dans des conditions extrêmes; ces dernières sont souvent très signifiantes pour l'apprenant.

SIMULATION → SIMULATEUR → APPROCHE DÉDUCTIVE

MODÉLISATION → ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE → APPROCHE INDUCTIVE

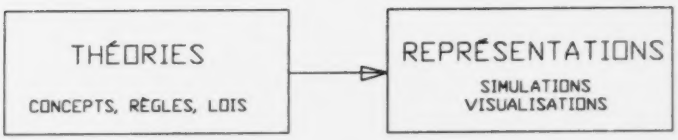


Figure 9

Simulation

Définition de la robotique pédagogique

La robotique pédagogique permet généralement une approche inductive. En effet, il est possible de faire débuter l'apprentissage par l'étude de la réalité, l'étude d'un système réel, l'ordinateur dans ce cas devient un appariteur robot qui aidera l'étudiant dans son observation du phénomène. Il favorisera une meilleure représentation de toutes les variables du système et permettra une "visualisation" des phénomènes comportant des obstacles pour leur appréhension. L'étudiant pourra alors, à partir de ces observations, induire les concepts, règles et lois qui sont en cause dans le système. Comme l'illustre la figure 10, on peut constater que l'apprenant peut induire les théories à partir du système à étudier en passant par l'ordinateur. Il pourra aussi le faire directement du système vers la théorie comme on le pratique dans les laboratoires conventionnels.

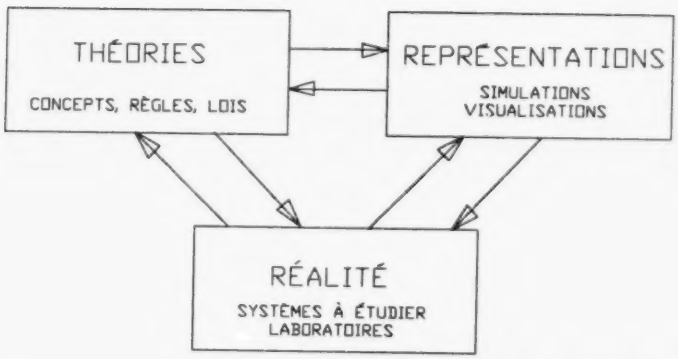


Figure 10

Système de robotique pédagogique

Par contre, la robotique pédagogique permet également une approche mixte, à la fois inductive et déductive, des phénomènes étudiés. Il est en effet possible après avoir construit un ensemble de règles et lois régissant un système à l'étude de vérifier concrètement l'application de celles-ci sur le système réel. Les possibilités d'intervention sur le système réel à l'aide de la robotique, permettent à l'étudiant d'intervenir

directement sur le fonctionnement du système, de modifier des paramètres et d'en étudier les conséquences. Nonnon a développé, pour illustrer cette approche mixte, un système, "le véhicule", où il est possible de construire la règle ou l'équation définissant le déplacement d'un véhicule, et par la suite de vérifier cette règle en fournissant cette équation avec des paramètres préétablis pour provoquer un déplacement.

Nous pensons qu'il est indispensable que l'étudiant manipule le système réel, qu'il établisse une relation plus "intime" avec lui, que ses sens soient mis à contribution et interviennent dans cette relation. Nous pensons qu'il est important pour son apprentissage que l'apprenant enregistre les informations fournies par le système de manière sensorielle, qu'il puisse non seulement sentir la chaleur ou le froid dégagé par le système, qu'il entende le grondement du moteur qui est surchargé, qu'il sente l'odeur dégagée par ce moteur en surcharge, mais nous pensons qu'il est aussi important qu'il se représente de manière graphique l'évolution dans le temps des interactions des différentes variables. Nous pensons comme Fortin et Rousseau (1989) et Tardif (1992) que ces multiples stimulations sensorielles enregistrées par l'apprenant permettent, par leurs significations, de mieux comprendre les phénomènes qui nous entourent.

Puisque les laboratoires de manipulation sur des systèmes réels sont indispensables pour un apprentissage cohérent, nous développerons un système utilisant, comme le simulateur, les capacités de l'ordinateur dans le but de rendre cette manipulation plus signifiante pour l'étudiant. La stimulation sensorielle permettant un enregistrement et une interprétation plus complète de l'information fournie par le système réel, lié (la stimulation sensorielle) aux informations captées et traitées par le système laboratoire favorise à notre avis un apprentissage plus signifiant pour l'étudiant. Alors

que le simulateur, malgré sa vitesse de traitement, sa grande sécurité d'opération et ses possibilités presque infinies de simuler tous les problèmes imaginables ne pourra jamais remplacer, via un robot pédagogique ou non, la manipulation d'un système réel. Il demeure cependant un outil complémentaire qui permet à l'étudiant de réaliser seul, chez lui ou en dehors du laboratoire une multitude d'expériences fictives, mais très enrichissantes.

Le fonctionnement de notre système ne sera pas basé sur un modèle mathématique, comme le simulateur, mais sur un système réel. De plus sa fonction principale ne sera pas de reproduire de façon simplifiée une séquence fictive de fonctionnement, mais plutôt de fournir intégralement toutes les informations qui émergent d'un système fonctionnant réellement. Les représentations fournies à l'écran de l'ordinateur ne seront pas issues d'un simple modèle mathématique, elles seront générées à partir de la situation réelle et concrète. Un simulateur ne nécessite que l'utilisation d'un micro-ordinateur tandis que notre système, rappelons-le, exige en plus du micro-ordinateur, un système réel de réfrigération, une interface reliant ces derniers en plus des capteurs et actionneurs qui doivent être installés sur le système de réfrigération. Nous pouvons dire que notre système possède toutes les fonctions d'un simulateur mais que notre simulation est une animation informatisée d'une situation réelle plutôt qu'une animation simulée d'une situation hypothétique, invisible à l'étudiant. Notons cependant qu'il serait techniquement très facile de compléter notre système de robotique pédagogique en lui ajoutant une fonction de simulation. Cette fonction permettrait son utilisation en dehors du laboratoire sans le système de réfrigération, il deviendrait à ce moment un simple simulateur. En effet, puisque nous utilisons déjà un ordinateur et que plusieurs fonctions de génération de graphiques et de dessins sont déjà

construites, il serait possible de compléter notre programme informatique en lui adjoignant le modèle mathématique rendant possible la simulation. Cette dernière pourrait être utilisée, comme nous l'avons déjà dit, dans les cas où l'ordinateur ne pourrait être raccordé au système de réfrigération. L'étudiant pourrait alors compléter son apprentissage à la maison ou dans tout autre endroit. De multiples simulateurs existent actuellement en éducation, leurs concepteurs ont développé une expertise importante. Nous utilisons déjà plusieurs simulateurs pour notre enseignement et nous intégrerons les connaissances acquises par leur utilisation à la réalisation de notre prototype.

Notons de plus qu'il nous apparaît improbable que le simulateur, tel que défini précédemment, puisse jamais remplacer complètement les laboratoires de manipulation sur les systèmes réels. Par contre, notre système sera un laboratoire réel avec des possibilités identiques à celles offertes par la simulation; il sera de plus un outil didactique permettant de rendre ce dernier plus abstrait puisqu'il travaillera à partir de la réalité pour découvrir celle-ci directement ou de manière simulée (symbolique) plutôt que d'étudier celle-ci uniquement de manière simulée.

Considérations historiques sur la robotique pédagogique

L'historique de l'approche que nous utiliserons se situe dans le cadre des recherches en robotique pédagogique. Les premières traces de la robotique pédagogique au Québec se retrouvent au début des années 1970. A cette période Nonnon et Laurencelle (1972) la définissaient comme ceci:

"L'utilisation de l'ordinateur destiné à effectuer le contrôle interactif et en temps réel d'une expérience."

La première recherche dans le domaine fut exécutée par ces deux professeurs du département de psychologie de l'U.Q.A.M. Leur expérience consistait à relier un ordinateur aux différents systèmes expérimentaux, ce qui leur permettait d'enregistrer les données recueillies, de les évaluer, de les présenter graphiquement et de les comparer à des courbes théoriques préenregistrées. C'était ce que Nonnon (1975) décrivait comme l'appariteur-robot.

L'avènement des micro-ordinateurs et leur intégration dans les milieux résidentiels et scolaires des années 1980 ont amorcé la recherche à plus grande échelle sur la robotique pédagogique. La majeure partie des expériences faites, porte sur la construction d'un robot et son raccordement à l'ordinateur afin de programmer et ainsi d'automatiser son fonctionnement.

En février 1989 APO Québec (Lemire 1990) a entrepris de recenser les expériences dites de robotique pédagogique faites au Québec. Le but de ce bilan était d'analyser les expériences et d'en dégager les orientations, les approches pédagogiques, ainsi que les ressources techniques et les ressources humaines qu'elles rassemblent.

Ce dossier est particulièrement important pour bien situer les besoins actuels de recherche dans le domaine. Dans sa conclusion, l'auteure traite de l'intérêt du concept de l'ordinateur outil de travail au laboratoire. Comme nous l'avons déjà cité en partie précédemment, elle écrit:

> "Comme dans d'autres utilisations pédagogiques de l'ordinateur et notamment l'enseignement assisté par ordinateur, on semble confondre la technologie et la méthode pédagogique sous-jacente à son utilisation, sans tenir vraiment compte de la spécificité du médium et de ses apports particuliers à l'apprentissage; par exemple, la possibilité de représentations simultanées graphique et physique (concrète) d'un phénomène, nous apparaît tout à fait unique et rendue faisable uniquement grâce à la robotique (dans son aspect utilisation de la technologie de l'informatique dans un but de manipulation et de mise en mouvement). Cette spécificité n'apparaît que dans les expériences où la robotique est exploitée dans le concept de l'ordinateur outil de travail au laboratoire. On l'a vu du reste dans la première partie de ce rapport, de telles applications de la robotique sont peu nombreuses."

Dans la même conclusion, on fait ressortir un point qui nous semble aussi très important, le lien entre la robotique pédagogique et la robotique industrielle. L'auteure écrit:

> "Enfin, un dernier point nous semble important à explorer; il en a été très peu question dans le bilan; il s'agit d'établir le lien entre la robotique pédagogique telle que nous avons décrit ses applications dans les écoles et la robotique industrielle ou encore la pédagogie de la robotique industrielle dans les départements d'électrotechnique ou de fabrication mécanique. Si l'on souhaite vraiment développer chez les enfants un esprit

technologique, ces liens doivent être faits très tôt dans leur formation scolaire, pour établir des bases solides et réalistes."

Cette recherche se voudra donc dans la suite de celles effectuées par d'autres chercheurs. Plus particulièrement, la poursuite des recherches effectuées au laboratoire de robotique pédagogique de l'université de Montréal par Pierre Nonnon. Nous avons déjà décrit les recherches de Nonnon (1986) qui a développé un prototype, utilisant un train miniature, générant une représentation graphique, en temps réel, de la fonction du premier degré correspondante. Nous avons également parlé des recherches de Nieto (1989) qui a développé, sous la direction de Nonnon, un prototype physique impliquant un plus grand nombre de variables et des variables plus complexes dans leur forme de représentation.

Nous allons donc dans cette recherche, poursuivre le travail déjà fait en construisant et en développant un prototype physique impliquant un plus grand nombre de variables. Sur la base du concept de la "lunette cognitive" développé par Nonnon (1986) nous développerons un système informatisé utilisant l'idée de base mais en multipliant les variables étudiées et en ajoutant d'autres formes de représentation graphique.

Le système développé deviendra un support important pour le professeur dans les activités de laboratoire que réalisent les étudiants. Ce procédé technologique fournira à l'élève, par la représentation graphique, un mode de représentation plus structuré qui favorisera l'acquisition de connaissances. L'étudiant, via le clavier de l'ordinateur, pourra contrôler le système à étudier et en modifier les diverses variables.

CHAPITRE 3

MODELE D'ACTION PÉDAGOGIQUE

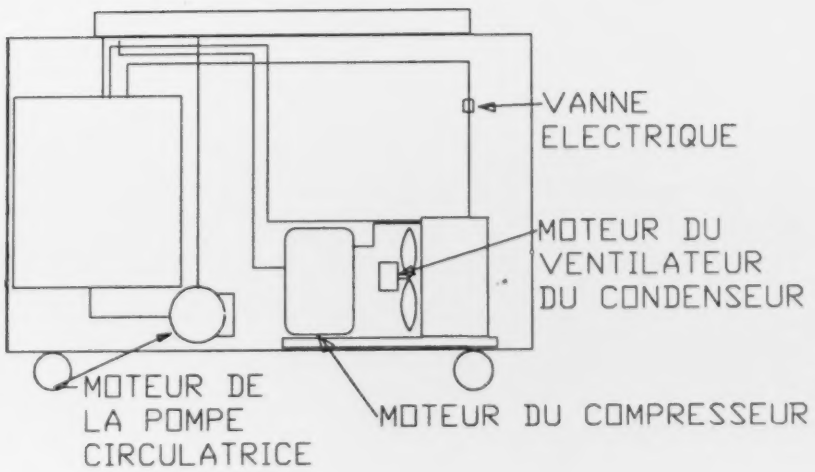
Le modèle d'enseignement que nous proposons est basé sur l'aide didactique à la construction d'un modèle mental de représentation. Ce modèle, que l'apprenant se construit progressivement par l'observation "in vivo" du phénomène à l'étude, devrait favoriser la compréhension globale d'un système technologique complexe. Nous désirons favoriser l'acquisition de ces structures par l'exploitation des stimulations sensorielles. Cette exploitation se réalisera, dans un premier temps, par la manipulation du système réel. En opérant concrètement le système on pourra déjà, en touchant aux tuyaux, en appréhender sensoriellement le fonctionnement, distinguer la différence des températures en deux points différents; en écoutant les sons on pourra même apprécier la circulation du réfrigérant ainsi que les efforts fournis par le compresseur. Dans un second temps, nous enrichirons cet environnement sensoriel, en présentant à l'étudiant, des schémas, graphiques et images représentant le système étudié, ceci afin de lui faciliter la construction d'une image mentale plus riche et plus discriminante du système global. Ces diverses formes de représentation seront fournies par le système informatisé et produites à partir des données réelles du système étudié. Cette image mentale incluant des représentations imagées et abstraites serait un "outil cognitif" (au sens de Nonnon 1986) disponible à l'élève pour comprendre le phénomène en cause.

Pour contribuer à l'amélioration de la didactique des technologies, nous allons développer un prototype informatisé. Ce prototype sera avant tout une aide dans la réalisation des activités de laboratoire. Il facilitera grandement les manipulations à effectuer sur le système de réfrigération pour engager l'élève plus rapidement dans un processus de résolution de problèmes. Il augmentera ainsi le nombre de manipulations, en un temps donné, facilitant une prise en compte plus rapide des interactions de variables permettant à l'étudiant de cerner l'ensemble du problème à l'étude. Ce système fera en sorte que les étudiants rendent explicites leurs raisonnements et qu'ils puissent visualiser leurs implications.

Cette didactique expérimentale utilise la représentation graphique, en temps réel avec le fonctionnement du système réel, comme langage initial d'interprétation des phénomènes physiques pour comprendre ceux-ci et communiquer facilement cette compréhension. Il devrait donc rendre l'apprentissage plus concret. Ce système unique permettra d'intégrer, en laboratoire, une approche à la fois inductive et déductive. Dans la démarche inductive le système facilite la compréhension du concret vers l'abstrait, par les diverses représentations fournies tout au long de la démarche de modélisation. Le système laboratoire permettra l'observation du cycle de réfrigération en tous ses points particuliers et devrait permettre ainsi à l'étudiant d'inférer la logique d'ensemble de ce phénomène. Par la simulation des transformations non "visualisables" impliquées dans le phénomène à l'étude, le système favorisera une démarche déductive favorisant la compréhension de l'abstrait vers le concret. Dans cette démarche déductive l'étudiant pourra, à partir des modifications sur les différents graphiques, inférer l'existence de phénomènes particuliers découlant des lois de la thermodynamique impliqués dans le cycle de réfrigération (évaporation et condensation associés aux changements de température et de pression).

Ce système laboratoire permettra via le clavier de l'ordinateur, le contrôle, soit l'arrêt ou le départ, de chacune des quatre composantes électriques du système de réfrigération. Il sera donc facile via la programmation de provoquer artificiellement des perturbations ou des pannes. Grâce à cette capacité de provoquer des perturbations et d'observer toutes les variables du système de réfrigération, le système laboratoire permettra à l'étudiant d'anticiper l'apparition d'une panne ou de pratiquer la détection de pannes. Il lui permettra de faire le lien entre les variables causes et les variables effets ainsi que des autres variables secondaires. Il permettra autant une visualisation d'ensemble du système de réfrigération qu'une visualisation plus spécifique de points particuliers. Il devrait permettre à l'étudiant de résoudre les pannes du système par un processus d'induction-

déduction logique et non par essai et erreur ou par le fruit de connaissances empiriques mémorisées suite à l'expérience.



Composantes électriques du système de réfrigération

Figure 11

Avec ce système, on veut fournir à l'élève un environnement facile à contrôler où il pourra organiser, via le clavier de l'ordinateur, des expériences afin de trouver une réponse à ses questions. Cet environnement, étant géré par l'ordinateur, permettra à l'élève de répéter ses expériences autant qu'il le voudra, d'enregistrer les diverses variables dans des tableaux et, selon son désir, de faire apparaître ces variables et leurs interactions sous forme graphique. De plus, ce contrôle par ordinateur nous permet de vérifier et limiter les variations de température et de pression. Cet environnement est donc très sécuritaire dans son utilisation par les étudiants puisqu'on peut définir des plages de fonctionnement inaccessibles à ceux-ci.

Cet environnement est axé sur l'expérimentation en laboratoire réel sur lequel l'étudiant pourra agir et observer le comportement. Cet environnement maximise les stimulations sensorielles pour le bénéfice de l'étudiant afin d'améliorer sa compréhension des concepts en cause. Ce système réel sera visualisé sous forme de représentations distinctes, icôniques et symboliques, la première représentera le système sous forme de dessins ou d'images auxquelles seront greffées les diverses mesures des variables en cause dans le système. Dans cette forme de représentation on fournira de plus, une simulation des transformations non "visualisables", on pourra visualiser par exemple le changement d'état de liquide à vapeur se produisant dans l'évaporateur. Cette transformation d'état ne pourrait se visualiser autrement que de manière icônique puisqu'elle se passe dans une enceinte hermétiquement fermée. C'est par les diverses mesures prisent sur le système qu'il sera possible de générer cette visualisation icônique illustrant le phénomène réel. La seconde visualisation (symbolique) représentera, sous forme de graphique cartésien, la valeur de ces mêmes variables enregistrées en fonction du temps. Ici (figure 12), nous avons à l'aide d'un schéma, illustré ie passage du réel à l'icônique, pour ensuite associer ce fonctionnement schématisé (icônique) à la représentation symbolique.

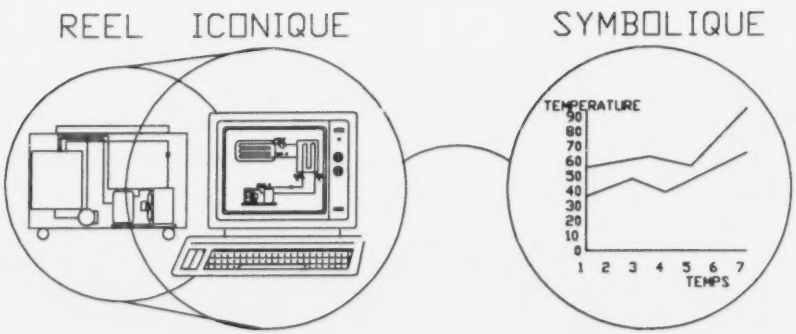


Figure 12

Principe de la lunette cognitive appliquée

à notre robot pédagogique

Nous privilégierons une approche conceptuelle, un cadre systémique, qui a déjà fait ses preuves dans plusieurs domaines de l'activité humaine, de la sociologie à l'administration en passant par l'enseignement, c'est-à-dire la conception systémique, telle que définie par Tardif et al (1992):

> "il s'agit essentiellement une manière d'aborder les phénomènes dans toute leur complexité et leur globalité, en accordant une attention particulière aux interactions ainsi qu'à leur interdépendance avec d'autres phénomènes."

De Rosnay (1975), en parlant des finalités de l'approche systémique, insiste sur la très grande importance "de considérer un système dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique". Selon cette conception, un système ne peut être réduit à la somme de ses éléments, et la notion d'interaction est la pierre angulaire de la compréhension. Il ajoute que la conception systémique conduit progressivement l'étudiant à la "maîtrise de la complexité et de l'interdépendance".

Ces auteurs rejoignent un des objectifs importants que nous visons par l'utilisation de notre système laboratoire. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, nous désirons que l'étudiant puisse appréhender le système de réfrigération dans son ensemble, d'une manière globale. La didactique actuellement utilisée favorise l'étude théorique de chacune des composantes séparément ainsi que de chacune des lois prise individuellement avant l'expérimentation en laboratoire. Nous désirons par cette approche systémique que l'étudiant maîtrise d'abord les aspects qualitatifs, tels que le chaud et le froid, du système de réfrigération dans sa globalité avant d'explorer plus en détail les aspects quantitatifs et plus spécifiques à chaque composante d'une façon systématique. Cette première approche qualitative favorise l'élaboration graduelle d'un modèle mental, en image ou en icône, la première image étant constituée d'un schéma simple mais complet de toutes les composantes, en interaction, du système de réfrigération. Les manipulations que l'étudiant effectuera

ensuite au laboratoire lui permettront de compléter l'élaboration de ce modèle mental en lui ajoutant des informations plus précises d'ordre qualitatif.

Dans les laboratoires conventionnels les observations sont limitées par l'instrumentation aux seules valeurs des pressions à l'entrée et à la sortie du compresseur, la température du réfrigérant doit être déduite en fonction de ces pressions et la "visualisation" de l'état liquide ou gazeux du réfrigérant est impossible et ne peut être inféré qu'à partir de calculs mathématiques complexes. Dans notre système laboratoire, par sa capacité de "visualisation" du phénomène en mode imagé et abstrait, nous devrions favoriser l'appréhension du phénomène par l'étudiant. Notre système, contrairement aux laboratoires conventionnels, permettra à l'étudiant de disposer d'une instrumentation lui permettant la lecture simultanée de toutes les informations pertinentes relatives au système de réfrigération. Il fournira à l'étudiant la mesure de la température et de la pression en temps réel, à l'entrée et à la sortie de chaque composante, lui permettant ainsi de bien voir l'effet de chacune de ces composantes sur ces pressions et températures. Il offrira également la possibilité de mesurer le courant consommé par le moteur d'entraînement du compresseur, ce facteur pouvant être influencé par le fonctionnement du cycle de réfrigération. De plus, chacune de ces valeurs pourra être enregistrée en fonction du temps et être présentée à l'étudiant sous forme de graphiques cartésiens. Ces graphiques permettent d'analyser avec détail les diverses modifications survenues sur les variables les unes en fonction des autres tout au long d'une expérimentation. Ces graphiques et ces icônes dessinés simultanément pendant le fonctionnement du système permettent de compléter le modèle mental de l'élève en l'enrichissant d'informations quantitatives.

Résultats attendus

Nous désirons que le jeune adulte, au secteur de la formation professionnelle, en situation expérimentale avec le robot pédagogique, en arrive à une compréhension globale d'un système de réfrigération. Il devrait, suite à cette expérimentation, avoir développé une représentation mentale du système de réfrigération. A partir de cette dernière, l'étudiant devrait être capable d'énoncer de manière qualitative les relations entre la température, la pression ainsi que l'état liquide ou gazeux du réfrigérant à tous les endroits du système. Plus spécifiquement, chacun de ces paramètres devrait être connu aux endroits suivants: à l'entrée et à la sortie du condenseur, de l'évaporateur, du compresseur et du détendeur. Nous pensons également que l'étudiant devrait être capable de décrire l'effet provoqué par la modification d'un paramètre sur les autres variables.

Description du prototype

Il s'agit essentiellement ici d'établir une stratégie de développement, à l'intérieur de laquelle, le modèle d'action pédagogique deviendra l'axe central autour duquel va se construire le prototype. Concevoir l'ensemble du système, préciser la dimension médiatisation: les pages-écrans, l'utilisation du clavier et des périphériques. Définir les interactions de l'élève avec l'ordinateur (appariteur-robot): l'utilisation du logiciel, le contrôle de l'expérience, la visualisation graphique en temps réel et autre. Pour ce faire nous utilisons l'ordinateur a) en mode conversationnel pour faciliter le passage des paramètres avant l'expérimentation, b) en mode de contrôle de procédé dans sa partie appariteur robot pour: 1) déclencher l'expérimentation, 2) contrôler cette expérimentation, 3) réaliser les acquisitions de données..., c) en mode graphique pour visualiser les données sous forme symbolique en temps réel. Nous devrons également produire des plans mécaniques, électriques et électroniques ainsi que des algorithmes de programmation pour réaliser ce système-laboratoire.

Nous allons:

* Définir un prototype d'environnement pédagogique informatisé susceptible de contribuer à l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage de la technologie de la réfrigération et, le cas échéant, d'autres technologies, surtout en ce qui concerne les concepts sous-jacents des phénomènes non "visualisables";
* Exploiter de manière pédagogique ce prototype, en l'utilisant comme outil d'enseignement et d'apprentissage et non comme objet d'apprentissage.

Plus spécifiquement nous allons:

- Concevoir des images interactives permettant à l'étudiant de visualiser de manière schématique des aspects non immédiatement visualisables du fonctionnement d'un système de réfrigération;
- Concevoir des graphiques des diverses variables du cycle de réfrigération visant à faciliter à l'étudiant l'analyse des systèmes;
- Développer des stratégies d'imagerie sous la forme d'icônes représentant le système et les interactions entre températures et pressions ainsi que les changements de phases, favorisant l'apprentissage de la résolution de problèmes;
- Simplifier l'ensemble des manipulations en vue d'accroître le nombre possible d'exercices réalisés en laboratoire;
- Permettre une interaction véritable entre l'étudiant et la situation expérimentale, dans le cadre d'exercices diversifiés et gradués.

En somme, nous inscrivant dans la suite des recherches mentionnées, nous voulons développer un prototype informatisé qui fournira à l'étudiant une image interactive des aspects non visualisables d'un système de réfrigération en fonctionnement ainsi que des graphiques illustrant les comportements des diverses variables en cause dans le cycle de réfrigération en activité. La représentation graphique, en temps réel avec le prototype physique, sera utilisée comme moyen de lecture des données du système, d'observation, d'analyse et d'interprétation des phénomènes physiques à faire comprendre par l'étudiant. Géré par ordinateur, cet environnement sera donc tout à fait sécuritaire. Il permettra à l'étudiant d'expérimenter sur le système réel autant qu'il le voudra, d'enregistrer les diverses variables en temps réel et d'en obtenir, selon ses besoins, diverses formes de représentations graphiques. Ce prototype permettra d'établir le lien qui manque actuellement entre le système mécanique réel, la représentation dynamique de son fonctionnement interne et la représentation symbolique des différentes interactions de variables.

Le matériel utilisé

Comme nous l'avons déjà mentionné, plusieurs contraintes nous incitent à utiliser un automate programmable comme interface entre le micro-ordinateur et le système de réfrigération. Ces contraintes sont d'ordre pratique et budgétaire, puisque ces A.P.I. (automates programmables industriels) sont déjà disponibles dans la majorité des laboratoires de réfrigération de la province. De plus, un certain consensus provincial a été fait pour standardiser l'utilisation du modèle d'automate AC8 de Andover dans les collèges. Une incitation d'ordre pédagogique nous pousse également à utiliser ces A.P.I. C'est la possibilité, rappelons-le, de manipuler ces derniers dans une situation concrète. En plus des objectifs visés dans le domaine de la réfrigération, la manipulation de ces automates permettra indirectement de fournir une base solide pour l'introduction en laboratoire d'automates programmables puisque les étudiants en mécanique du bâtiment seront de plus en plus confrontés avec ce type d'environnement.

Le logiciel qui devra soutenir toute la programmation liée au système que nous allons développer est celui qui est spécifiquement conçu pour communiquer avec l'A.P.I. Ce logiciel d'animation s'appelle Nucléus.

Précisons ici que la conception au niveau technique devra se plier à nos objectifs pédagogiques. A première vue, la grande capacité et la souplesse des A.P.I. devraient en faire un outil très intéressant pour ce genre d'application. La qualité de cet environnement didactique dépendra essentiellement de notre capacité à asservir cet environnement à nos objectifs pédagogiques.

Réalisation

Nous allons ici opérationnaliser le modèle d'action en décrivant les différentes situations didactiques en séquences d'activités d'apprentissage en laboratoire pour l'ensemble du cours. Conçues dans une perspective de difficultés croissantes, ces activités, visent à permettre l'atteinte d'objectifs spécifiques, elles seront chacune instrumentées de manière appropriée en graphiques, schémas et textes à l'écran. Il s'agira ensuite de concevoir et de réaliser sous forme de croquis tous ces dessins, graphiques et textes qui apparaîtront à l'écran et qui contribueront à faire du logiciel d'animation un véritable outil d'apprentissage. Au terme de ces activités nous serons en mesure de planifier le traitement informatique de ce matériel d'apprentissage de manière à hiérarchiser les séquences d'apprentissage et d'enseignement des principes et du fonctionnement du cycle de la réfrigération.

Les activités de notre seconde étape ont surtout un caractère technique. Elles consistent en la construction d'un prototype qui sera composé d'un micro-ordinateur IBM ou compatible, d'un automate programmable industriel Andover AC8, d'un système de réfrigération mécanique fonctionnel et de plusieurs capteurs et actionneurs permettant l'interaction entre ces composantes.

Les capteurs, reliés aux systèmes de réfrigération, permettent la mesure des diverses valeurs de température et de pression aux endroits stratégiques du système. Les actionneurs permettent d'agir sur le fonctionnement du système, c'est--à-dire sur l'interruption et la mise en marche de ses composantes électriques (compresseur, ventilateurs et vannes électriques). Les capteurs et les actionneurs sont raccordés à l'automate. La figure 13 représente l'architecture générale du système projeté.

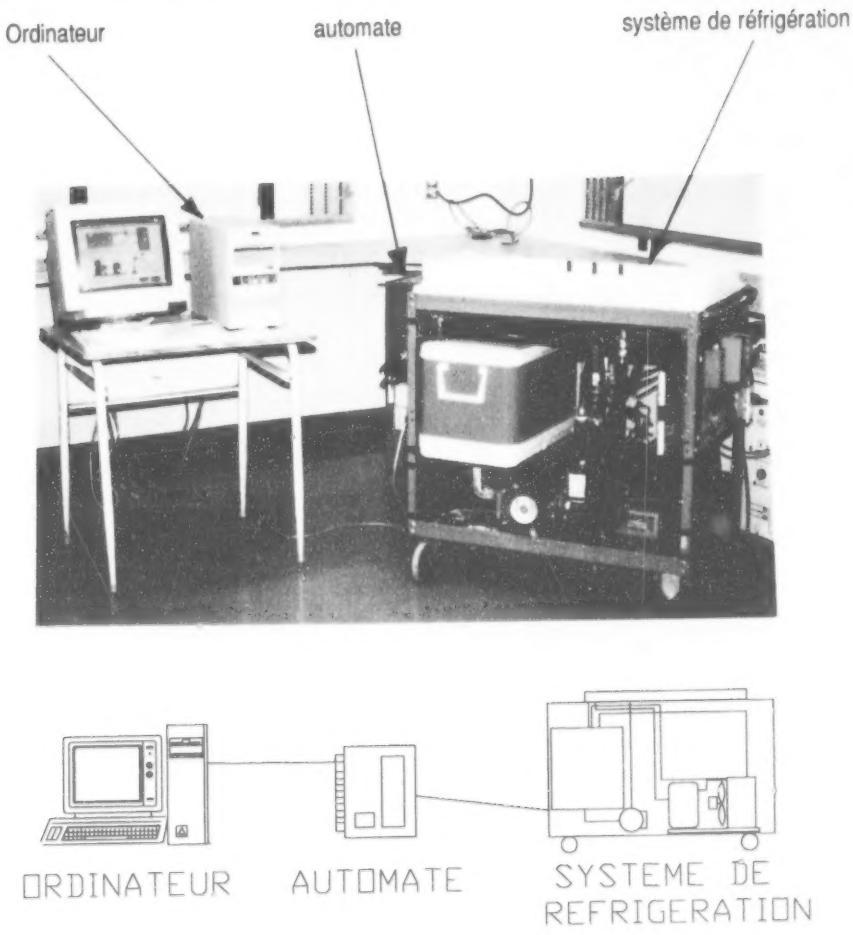


Figure 13

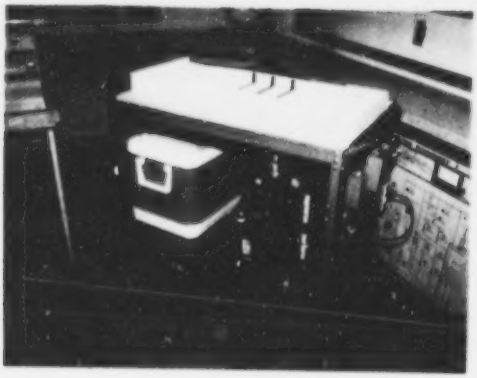
Architecture générale du système

C'est l'automate qui servira d'interface entre le système de réfrigération et l'ordinateur. Son utilisation simplifiera grandement la communication entre capteurs, actionneurs et ordinateur. La programmation de contrôle, de communication élève-ordinateur ainsi que le programme de simulation graphique sont réalisés à partir d'un langage d'animation "Nucléus"..

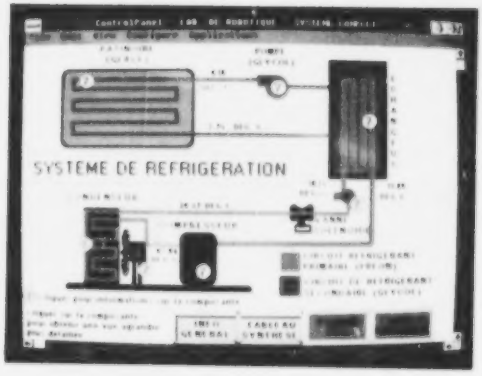
C'est ce programme qui permettra la création à l'écran des images et des graphiques qui intègrent, en temps réel, les données recueillies par les capteurs. Ces images simplifiées (schémas) du cycle de réfrigération en déroulement dans le système sont interactives puisqu'elles doivent se transformer en même temps que le système de réfrigération réel. Elles comprennent également des valeurs qui se modifient constamment pour traduire la valeur réelle mesurée à différents points du prototype. Certaines composantes de l'image sont animées, pour bien simuler le fonctionnement du système. Des transformations non visibles autrement, telle que l'évaporation du réfrigérant, sont ainsi simulées. Le prototype doit également cumuler les valeurs de pression et de température, les traiter mathématiquement et les fournir à l'étudiant sous forme de graphiques simplifiés. Enfin, des informations, explications ou consignes sont communiquées à l'étudiant sous forme de textes à l'écran.

Les diverses composantes matérielles du système étant raccordées, il s'agit de réaliser la programmation nécessaire au fonctionnement de l'ensemble et devant permettre simultanément la génération des images, des graphiques et des textes. Ce qui rendra compte de notre modèle méthaphorique de lunette cognitive (figure 12) avec sa partie réelle, icônique et symbolique.

A)



B)



C)

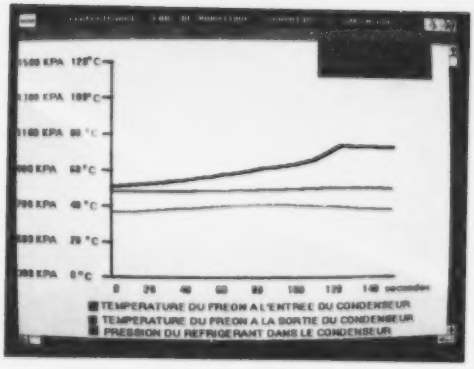


Figure 14

A) système réel B) Icônique C) symbolique

Méthodologie pour les mises à l'essai

Méthodologie pour la mise à l'essai fonctionnelle

La mise à l'essai fonctionnelle dans une recherche de développement de ce type se définit comme un test très large destiné à vérifier si le prototype réalise bien les opérations prévues. Nous tentons également d'identifier les défauts du prototype ou les améliorations à lui apporter et vérifions s'il est protégé contre les utilisations incohérentes.

En laboratoire nous avons vérifié préalablement, d'une manière exhaustive, le fonctionnement du système-laboratoire: fonctionnement technique de l'ensemble en provoquant des interactions entre l'utilisateur, l'ordinateur, l'automate programmable et le système de réfrigération. Ceci se réalise sous la coordination du logiciel qui, de plus, doit acquérir les données et les modéliser en temps réel. Nous vérifions aussi le bon fonctionnement du système de communication avec l'élève et la qualité des graphiques.

Ensuite nous le soumettons à l'expérimentation avec des experts en la matière. Les experts disposaient de questionnaires et suivaient en gros le même protocole que les élèves. Ils étaient invités ensuite à donner leurs commentaires verbalement et à répondre au questionnaire faisant une large place aux questions à développement. Le but de cette mise à l'essai fonctionnelle, faite avec des experts, est de nous permettre d'avoir une opinion objective sur la fonctionnabilité et les possibilités de ce système laboratoire. Elle servira principalement à apporter des correctifs ou modifications au

prototype afin de rendre celui-ci plus fonctionnel, plus facile d'utilisation et plus performant au niveau didactique, avant de l'insérer dans une situation d'apprentissage.

Méthodologie pour la mise à l'essai empirique

Dans cette étape nous plaçons le prototype au laboratoire devant un groupe-classe avec le double objectif de parfaire sa conception et de l'intégrer à l'enseignement et à l'apprentissage.

Le prototype sera utilisé par des étudiants inscrits au programme de la technologie de la mécanique du bâtiment du Cégep de St-Hyacinthe. Chaque étudiant sera suivi de près dans sa démarche d'apprentissage[4]. Une comparaison sera établie entre les connaissances de l'étudiant avant et après l'utilisation du système laboratoire.

Cette mise à l'essai sera suivie d'une rétroaction sur notre modèle d'action. Elle dégagera l'intérêt didactique du prototype qui se manifestera principalement par le bénéfice pédagogique pour les étudiants et la facilité de mise en oeuvre pour les enseignants. De plus, nous analyserons l'intérêt et l'attitude des élèves en interaction avec ce type nouveau d'environnement.

Nous prévoirons au besoin de nouvelles pistes de développement ainsi que des hypothèses pour répondre aux questions théoriques qui ne manqueront pas de se manifester.

---

4 Le protocole détaillé de la mise à l'essai se retrouve à l'annexe 1.

CHAPITRE 4

MISES A L'ESSAI

Mise à l'essai fonctionnelle

Réalisation de la mise à l'essai

La mise à l'essai fonctionnelle a été réalisée au département de technologie de la mécanique du bâtiment du Cégep de St-Hyacinthe. Elle a été effectuée par quatre professeurs de ce département, chacune de ces personnes étant un expert-matière, un spécialiste en réfrigération. Le but de cette mise à l'essai est d'expérimenter le système laboratoire avec l'objectif de l'évaluer sous tous ses aspects. Les commentaires attendus se voulaient autant d'ordre didactique que technique. Afin de guider les enseignants dans leur démarche de mise à l'essai nous leur avons demandé de répondre à une série de questions, ces dernières se retrouvent en annexe. Chaque question nous assurant d'avoir le point de vue des experts sur les objectifs importants du système. La 1ière question très générale veut donner une base pour analyser la 2ième, c'est-à-dire discriminer les prérequis du cours de réfrigération des prérequis de ce laboratoire. Les questions 3 et 4 veulent nous donner un point de vue sur l'aide à apporter aux élèves au cours de leur démarche. Les questions 5 à 14 nous donnent une opinion sur la qualité et les performances du système laboratoire. La question 15 et les suivantes nous donneront une opinion à caractère didactique.

Résultats de la mise à l'essai

La mise à l'essai fonctionnelle du prototype auprès d'enseignants en technologie de la réfrigération a permis de faire ressortir plusieurs problèmes au niveau de la conception de ce dernier.

Nous avons regroupé les réponses et commentaires sous deux grands thèmes, soient l'utilisation du logiciel et l'information fournie par ce dernier.

Sur l'utilisation et la manipulation du logiciel

-Introduction au logiciel

La majorité des répondants ont souligné l'importance d'un document d'accompagnement pour expliquer la méthode de mise en opération du système. Ils ont aussi indiqué que plusieurs autres informations telles que des explications sur certains principes en cours, comme la surchauffe et le sous refroidissement, pourraient être présentées sous forme de fenêtres apparaissant sur demande de l'utilisateur.

-Navigation à travers le logiciel

Dans l'ensemble les répondants pensent que l'étudiant pourrait cheminer seul à travers le logiciel sans la présence du professeur. Cette démarche individuelle pourrait être facilitée si l'on ajoute des textes explicatifs présentés sous forme de fenêtres comme mentionné précédemment.

L'interaction entre l'étudiant et le système de réfrigération est jugée bonne. La qualité des graphiques l'est également; un des répondants note que la patinoire est proportionnellement trop petite par rapport aux autres composantes. Un autre suggère l'ajout d'un graphique représentant le diagramme électrique du système. Un troisième aimerait pouvoir visualiser deux ou plusieurs composantes en même temps. On note également l'intérêt d'ajouter la valeur de la différence de température (delta T) entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur dans les graphiques cartésiens.

En général on juge qu'il est facile de se déplacer à travers les diverses composantes du logiciel. Certains pensent qu'il serait utile que l'utilisateur puisse modifier les points de consigne du système.

Sur son utilisation comme outil didactique

On suggère d'ajouter des messages sur les graphiques cartésiens pour en faciliter l'interprétation. On propose par exemple d'indiquer qu'il est nécessaire d'attendre quelques instants avant que les mesures ne s'enregistrent dans le graphique. On conseille également d'ajouter des icônes informant l'utilisateur, sur demande, du rôle de chaque composante.

Pour ce qui est des informations, on suggère d'ajouter la valeur des points de consigne (Ces points de consigne sont les points d'ajustement des régulateurs qui correspondent au démarrage et à l'arrêt du compresseur, du ventilateur, de la pompe circulatrice et de la vanne électrique). Un répondant aimerait avoir plus de mesures de température et de pression, il propose de mesurer la valeur de la température et de la pression à l'entrée et à la sortie de chaque composante. Cette même personne aimerait que l'on retrouve les valeurs de la surchauffe et du sous-refroidissement réels. Elle propose également d'ajouter les valeurs de températures et de pression en unités du système anglais.

On juge que les informations sont claires, seul un des enseignants note une problématique au niveau de la compréhension de la transformation du gaz chaud en liquide.

Les nouvelles fonctions que l'on propose devraient permettre à l'étudiant de modifier les consignes via le clavier de l'ordinateur, une autre permettrait de générer un tableau compilant toutes les valeurs des diverses variables en un temps donné.

On détecte une erreur dans la mesure du courant que consomme le compresseur. On note également que l'utilisation accidentelle des commandes en haut de l'écran peut provoquer diverses réactions difficilement contrôlables par l'étudiant. De plus on nous fait remarquer une certaine erreur au niveau du temps dans les graphiques cartésiens. Un enseignant souligne qu'il a noté des problèmes de fonctionnement de la vanne solénoïde lorsqu'elle est commandée par le bouton poussoir à l'écran de l'ordinateur.

De façon générale on s'entend sur l'intérêt d'un tel système, cependant on insiste sur sa complémentarité dans le sens qu'il ne saurait à lui seul remplacer le professeur et tout autre équipement de laboratoire.

On s'entend également sur le fait qu'un tel système permettrait un enseignement plus individualisé et qu'il favoriserait le développement d'une certaine autonomie chez l'étudiant.

Les problèmes d'utilisation que les enseignants entrevoient sont très variés; le premier enseignant note l'importance d'ajouter à l'activité des exercices précis donnés à l'étudiant, le second souligne la nécessité d'avoir plusieurs systèmes de ce type plutôt qu'un seul comme c'est le cas actuellement. Un dernier s'interroge sur la capacité des étudiants à faire le lien entre ce système de réfrigération pour patinoire et un autre type de système de réfrigération.

On donne très peu de solutions aux problèmes soulevés; on répète l'intérêt d'indiquer les points de consignes à l'écran et on propose, dans le cas où on permettrait à l'étudiant de modifier les points de consignes, de limiter son action à une plage prédéterminée en fonction des limites du système. Soit d'ajouter une fonction dans le programme permettant de vérifier les valeurs des points de consignes les uns par rapport aux autres ainsi que leurs valeurs maximales et minimales afin d'interdire à l'étudiant un ajustement erroné pouvant provoquer un mauvais fonctionnement du système.

Analyse et interprétation des résultats et modifications apportées suite a la mise à l'essai fonctionnelle.

Dans cette section, nous allons analyser les commentaires faits par les enseignants ayant effectué la mise à l'essai fonctionnelle. De cette analyse nous déduirons les modifications à apporter au prototype et nous justifierons les suggestions que nous ne retiendrons pas. On note que certaines remarques font l'unanimité ou se retrouvent dans plus d'un document. Ces propositions unanimes feront l'objet de modifications apportées au prototype. Les remarques ne provenant que d'une seule personne seront analysées individuellement pour vérifier leur pertinence.

Sur l'utilisation et la manipulation du logiciel

-Introduction au logiciel

Pour débuter nous sommes d'accord qu'il est nécessaire d'avoir un guide explicatif pour la mise en opération du logiciel. Il serait également utile d'avoir un texte explicatif au début du logiciel résumant les principales fonctions et la façon d'y accéder.

-Navigation à travers le logiciel

Nous ajouterons des icônes commandant l'apparition de fenêtres explicatives au moins à tous les endroits suggérés.

Sur son utilisation comme outil didactique

Nous avons modifié les graphiques cartésiens en leur ajoutant les explications nécessaires. Nous avons changé l'échelle du temps que l'on nous a rapportée comme erronée.

Nous avons indiqué également les points de consigne sur les graphiques (seuil de démarrage ou d'arrêt d'une fonction). En effet ces derniers sont bien importants pour comprendre la causalité entre ceux-ci dans les modifications de température et de pression et inversement pour comprendre aussi l'aspect asservissement qui permet de stabiliser ces températures et pressions en fonction du démarrage et de l'arrêt du système.

L'ajout d'une fonction permettant à l'étudiant de modifier les points de consigne via le clavier de l'ordinateur serait facile à exécuter. En effet puisque c'est l'ordinateur qui a le contrôle total de l'opération du système, c'est dans son programme que se trouvent les divers points de consigne indiquant à quelle température ou pression chaque appareil doit être mis en opération ou arrêté. Il serait donc facile d'ajouter une fonction à l'écran permettant de modifier ces dernières par un simple mouvement du pointeur de la souris. Cependant nous ne pensons pas qu'il soit opportun de créer cette fonction, nous ne permettrons pas à l'étudiant de modifier les points de consigne. En effet, attendu que l'objectif de ce système est l'étude du cycle de réfrigération et que les points de consigne ne servent qu'à contrôler l'arrêt et le départ des diverses composantes du système, que ces dernières peuvent déjà être arrêtées via le clavier de l'ordinateur, il serait à notre avis préférable que l'étudiant n'ait pas à modifier ces paramètres en cours d'expérience puisque cela compliquerait d'autant son interprétation du fonctionnement global en fonction du temps. En le libérant ainsi de contraintes inutiles, on lui permet de se concentrer sur l'analyse du cycle lui même. Il serait cependant possible et même très intéressant d'ajouter cette fonction en regard d'objectifs pédagogiques différents. L'étude

du système de réfrigération et de son circuit de régulation se ferait très bien avec ce système laboratoire en lui ajoutant des options plus complexes telle que l'ajustement des points de consigne.

L'idée d'un tableau compilant toutes les valeurs en même temps nous semble intéressante, nous avons ajouté ce tableau. La remarque proposant l'augmentation du nombre de mesures de température et de pression nous apparaît aussi intéressante. Cependant elle a fait l'objet d'une décision prise lors de la conception du prototype. En effet nous sommes très conscients que le système idéal pourrait posséder une infinité de capteurs de température et de pression, le nombre choisi est cependant le fruit de compromis, tenant compte des implications techniques, financières et pédagogiques.

Le choix du système international d'unité a été fait en fonction des recommandations du ministère de l'éducation et celui de l'enseignement supérieur et de la science du gouvernement du Québec. L'ajout d'un autre système, très facile à introduire par ailleurs, pourrait à notre avis surcharger les écrans. Cette profusion d'informations devenant alors contre performante pour l'étudiant. Nous croyons que l'étudiant a intérêt à se concentrer sur le phénomène avec un seul système de mesure. Cependant il serait possible, sur demande, d'amorcer au début du travail avec le logiciel, une commande spécifique permettant initialement de choisir le système de mesure dans lequel on veut travailler.

Toutes les erreurs sont évidemment corrigées, en particulier la mesure du courant du compresseur. Nous avons expérimenté également le fonctionnement de la vanne solénoïde pour vérifier son bon fonctionnement.

Un exemplaire du questionnaire rempli par les experts de la matière pour les guider dans la mise à l'essai se retrouve à l'annexe 2.

Mise à l'essai empirique

Réalisation de la mise à l'essai

La démarche adoptée pour notre mise à l'essai empirique est basée essentiellement sur une démarche systémique de résolution de problèmes. Cette démarche permet, dans une première étape, de placer l'étudiant en présence de problèmes technologiques liés à la réfrigération. Ces problèmes se présentent sous la forme de questions écrites auxquelles l'élève sera invité à répondre. Ils vont nous permettre d'évaluer le niveau de compréhension de base de chaque étudiant. De plus ils vont centrer l'étudiant sur le domaine précis et lui donner une base de réflexion et de questionnement sur la compréhension d'un système de réfrigération. En lui demandant de répondre à ces questions écrites avec l'aide exclusive de notre système laboratoire, nous allons contrôler que la différence, pour chaque étudiant, entre les résultats obtenus entre la première et la troisième étape ne pourra s'expliquer que par l'effet de son travail avec le système laboratoire puisqu'il n'aura accès à aucune autre information écrite ou verbale en dehors du laboratoire. Ainsi, dans la seconde étape, nous avons fourni à l'étudiant les outils (notre système laboratoire) lui permettant de résoudre son problème par l'exploration et l'analyse, sous tous ses aspects, du système de réfrigération. Dans une troisième étape nous avons vérifié si l'utilisation du prototype lui a permis d'avancer dans la résolution des problèmes de compréhension.

Le processus complet se déroulait pour chaque élève en une seule période (un même moment), il comportait trois étapes.

1) La première étape consistait en un pré-test.

2) La seconde était la mise à l'essai empirique et les observations s'y rattachant.

3) La troisième consistait en un post-test.

Nous allons donc dans la première étape mesurer le niveau de connaissances des étudiants en réfrigération en leur demandant de répondre à une série de questions sur le cycle de réfrigération. Ce pré-test ne servait pas à éliminer des sujets mais à situer le niveau de connaissances et à susciter les situations de résolution de problèmes. Il est constitué d'une série de trente quatre questions (annexe 3) touchant l'ensemble des paramètres présents dans le cycle de réfrigération. En effet, les vingt-quatre premières questions portaient sur l'identification qualitative de la température, de la pression ainsi que de l'état liquide ou gazeux du réfrigérant pour chaque point important du système de réfrigération. Les questions 25 à 32 exigeaient de l'étudiant d'imaginer l'effet de la variation d'un paramètre sur les autres. Les questions 33 et 34 étaient des questions synthèses impliquant plus qu'une variable, elles étaient donc d'un niveau de difficulté plus grand.

Notons que les étudiants pouvaient avoir vu, via le cours théorique de thermodynamique, des illustrations ou exemples portant sur la réfrigération. Ce pré-test constituait une amorce de réflexion suscitant une interrogation chez les étudiants et provoquait un questionnement qui, nous le croyons, leur a permis de mieux exploiter le prototype en décidant à l'aide de celui-ci de répondre à ces questions. Nous sommes conscients du problème lié à l'aspect répétitif du pré-test-post-test, aussi pour minimiser ou contrer cet effet, nous avons placé ceux-ci dans une même séance, l'élève ne disposant que du système laboratoire pour répondre aux questions suscitées par le pré-test. C'est, nous le croyons, une situation typique de résolution de problèmes techniques. Nous avons donc dans la seconde phase demandé à chaque étudiant d'expérimenter le système laboratoire. Lors de cette mise à l'essai, les seules consignes que nous leur avons données étaient d'essayer de répondre aux interrogations que le pré-test avait suscité en eux. Nous espérions que ces interrogations orienteraient

leurs observations réalisées avec le système laboratoire. Nous leur avons seulement suggéré de faire le tour du système, d'observer les températures, les pressions ainsi que l'état liquide ou gazeux du réfrigérant tout au long du cycle. Pendant que se déroulait chaque mise à l'essai nous avons noté le comportement des étudiants vis-à-vis le système et essayé de cerner les difficultés rencontrées dans leur cheminement d'exploration, de manipulation et d'expérimentation, cheminement qu'ils ont utilisé pour répondre à leurs interrogations. Ces observations serviront à étayer et à confronter ces difficultés aux résultats du pré-test et du post-test. Puis, dans la troisième étape, suite à la mise à l'essai, nous avons demandé à chaque étudiant de répondre à un post-test dans le but de déterminer si de nouvelles connaissances avaient été acquises à l'aide de ce laboratoire. Le post-test était constitué des mêmes questions qui leur avaient été posées dans le pré-test avant l'utilisation du système laboratoire dans le pré-test.

Finalement nous avons comparé les résultats de ces deux questionnaires, le pré-test et le post-test.

La mise à l'essai empirique a été réalisée au Cégep de St-Hyacinthe auprès d'étudiants de collège 1 du département de technologie de la mécanique du bâtiment. Un groupe de 12 volontaires de la même classe a été formé. Ces étudiants n'avaient suivi aucun cours de réfrigération. Cependant ils avaient, par le cours "Thermodynamique appliquée" numéro 221-223-88, les connaissances des principes de base de la thermodynamique, prérequis considéré essentiel pour comprendre le cycle de réfrigération. Leur connaissance des micro-ordinateurs se limitait à ce qu'ils avaient appris dans le cours "Utilisation de logiciels sur micro-ordinateur" numéro 221-904-85 portant sur la manipulation d'un micro-ordinateur et sur l'utilisation des principaux logiciels de base.

Attendu que la mise à l'essai devait se faire sur une base individuelle puisque nous ne disposions que d'un seul prototype, nous avons dû organiser celle-ci en dehors des heures de cours réguliers. Nous avons donc conçu un horaire répondant aux disponibilités de chacun des 12 étudiants du groupe.

La mise à l'essai a duré approximativement une heure pour chaque participant. Aucun support d'accompagnement n'a été fourni aux étudiants, aucune explication et cours n'ont été donnés par le professeur. Ce dernier n'a fait qu'enregistrer les commentaires et questions des étudiants.

Résultats

Résultats du pré-test

Le tableau 2 permet de voir les résultats obtenus par chaque étudiant au pré-test.

ÉTUDIANTS	RÉSULTATS (%)
1	6
2	0
3	0
4	29
5	38
6	32
7	6
8	18
9	62
10	47
11	35
12	32
MOYENNE %	**26**

Tableau 2

Résultats du pré-test

Pourcentages de bonnes réponses au pré-test

fournies par chaque étudiant

Observations sur le comportement des élèves pendant l'expérimentation

Pendant l'expérimentation avec le prototype nous avons noté le comportement, les observations et commentaires des élèves avant de procéder au post-test. Les élèves n'ont laissé paraître aucune inquiétude vis-à-vis la manipulation du système. Après seulement quelques minutes d'explications ils ont utilisé le système avec une grande aisance. Nous avons noté quelques commentaires des élèves. Les commentaires revenant le plus souvent étaient:

* "Système très agréable à utiliser"
* "Les lectures sont très faciles à prendre"
* "J'espère que l'on pourra l'utiliser lorsque nous suivrons le cours de réfrigération"
* "C'est comme un jeu"
* "C'est spécial de pouvoir contrôler les moteurs par la souris"
* "Les laboratoires seraient plus intéressants avec ce système"
* "Ca nous permet de voir ce qui se passe à l'intérieur"

Résultats du post-test

Les résultats du post-test sont présentés dans le tableau 3.

ÉTUDIANTS	RÉSULTATS (%)
1	62
2	53
3	77
4	68
5	59
6	53
7	85
8	53
9	85
10	88
11	82
12	71
MOYENNE %	**70**

Tableau 3

Résultats du post-test

Pourcentages de bonnes réponses au post-test

fournies par chaque étudiant

Analyse des résultats

Analyse des résultats du pré-test

La première partie de l'analyse des résultats a consisté à corriger le test que les étudiants ont fait avant la mise à l'essai. Les résultats de ce premier test (pré-test) ont confirmé que ces étudiants avaient très peu de connaissances sur le cycle de réfrigération. En effet la moyenne des résultats du groupe fût de 26%. Un seul étudiant a dépassé le seuil de 60%, soit 62% (tableau 2). Une analyse des résultats de chaque question nous confirme qu'aucune notion n'était bien comprise par l'ensemble du groupe. Les questions 11 et 18 ayant obtenu la meilleure performance soit de 6 bonnes réponses sur une possibilité de 12 soit 50%. Le tableau 5 illustre la compilation de ces résultats.

Afin de répondre au questionnement provoqué par le résultat de l'étudiant ayant obtenu 62% au pré-test, nous l'avons rencontré. Cette rencontre nous a permis de constater qu'il avait effectivement une connaissance de base en réfrigération bien qu'il n'ait jamais suivi de cours. Ces connaissances proviennent du milieu familial puisque son père travail dans le domaine de la réfrigération.

Analyse des observations et commentaires des étudiants

La deuxième partie a consisté à l'analyse des observations faite par les étudiants expérimentant le prototype. Cette dernière fût surtout centrée sur l'analyse des observations que nous avons faite sur le comportement des étudiants vis-a-vis le système laboratoire. Nous avons recueilli leurs commentaires et suggestions. Les observations effectuées lors de l'expérimentation nous ont

permis de constater que les étudiants n'avaient aucune difficulté à cheminer à travers le logiciel. Ces derniers n'ont émis que des commentaires positifs sur le système.

Aucune suggestion de modification ou d'amélioration n'a été faite par les étudiants. Nous en concluons que la mise à l'essai fonctionnelle a été efficace puisqu'elle a permis d'identifier les correctifs à apporter au prototype et à modifier celui-ci en conséquence avant sa mise à l'essai avec les élèves.

Analyse des résultats du post-test

La troisième partie a consisté à évaluer les connaissances de l'étudiant après l'expérimentation. Nous avons analysé les résultats du test que nous leur avons donc demandé de répondre après avoir réalisé le laboratoire (post-test). Rappelons que le pré-test et le post-test comportaient les mêmes questions. La correction de ce test nous a permis de constater que tous les élèves avaient acquis des connaissances importantes sur le cycle de réfrigération. En effet la moyenne des résultats du groupe est de 70% et la plus haute note est de 88%.

Interprétation des résultats comparatifs entre le pré-test et le post-test

La moyenne des résultats du groupe est passée de 26% à 70%. La plus haute note qui n'était que de 62% pour le pré-test est passée à 88% au post-test. Le test de comparaison des moyennes, le test t, nous donne un t=6,4. La valeur-seuil étant de 1,717 avec un seuil de probabilité inférieur à 1%, on peut conclure que cette différence est significative.

Les résultats ramenés en pourcentage sont compilés dans le tableau 4. Nous tenons à rappeler que l'objectif d'une telle mise à l'essai est de parfaire la conception du prototype et de vérifier s'il s'intègre bien à l'enseignement et à l'apprentissage. Seule une mise à l'essai systématique utilisant un groupe cible et un groupe témoin permettrait d'évaluer jusqu'à quel point notre prototype favorise un meilleur apprentissage que l'enseignement traditionnel ne le fait. Ceci pourra se faire dans le cadre d'une autre recherche, avec d'autres étudiants. Il faudra alors, pour respecter l'éthique, pratiquer un effet contrebalancé sur chaque groupe, le premier groupe (expérimental) travaillant avec le système dans une première étape (premier trimestre) puis de manière traditionnelle le deuxième trimestre. Le deuxième groupe (contrôle) travaillant de manière traditionnelle le premier trimestre et avec le système le deuxième trimestre. La comparaison entre les résultats de chaque groupe pour chaque trimestre devrait nous fournir une évaluation acceptable des bénéfices didactiques de notre système laboratoire en comparaison de l'enseignement traditionnel.

ÉTUDIANTS	RÉSULTATS (%) PRÉ-TEST	RÉSULTATS (%) POST-TEST %
1	6	62
2	0	53
3	0	77
4	29	68
5	38	59
6	32	53
7	6	85
8	18	53
9	62	85
10	47	88
11	35	82
12	32	71
MOYENNE %	**26**	**70**

Tableau 4

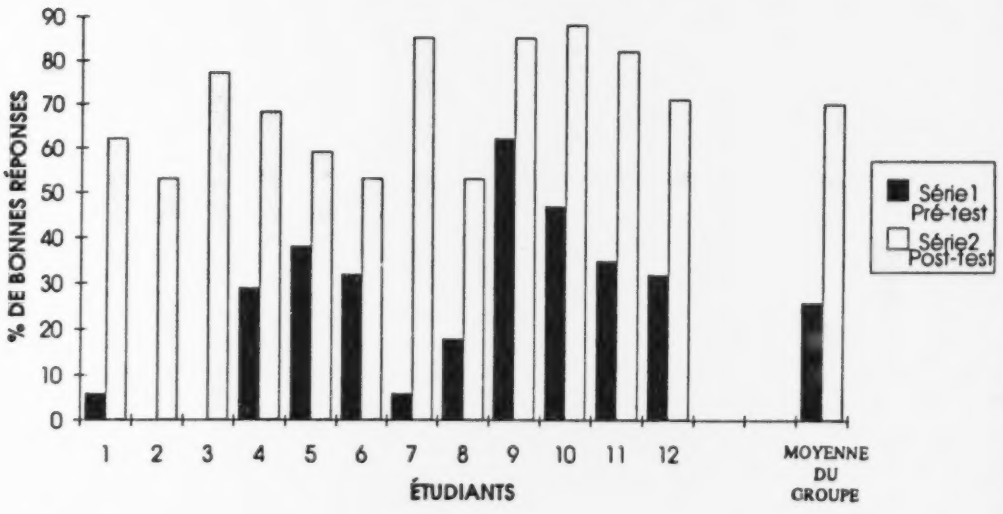
Résultats des tests

Pourcentages de bonnes réponses au pré-test

et au post-test fournies par chaque étudiant

On constate donc une nette amélioration de la performance des étudiants après avoir réalisé le laboratoire. Le graphique 1 illustre les performances de chaque étudiant, il nous permet de comparer facilement les résultats du pré-test avec ceux du post-test.

GRAPHIQUE 1



Dans le tableau 5 nous nous sommes livrés à une analyse des résultats en fonction de chaque question; nous y retrouvons, pour chacune des questions le pourcentage d'étudiants ayant répondu correctement dans le pré-test et dans le post-test. La dernière colonne, titrée "facteur d'augmentation" représente le rapport entre le résultat du post-test et du pré-test pour chaque question. Par exemple à la question numéro 1 les résultats du pré-test sont de 33.3% tandis que ceux du post-test sont de 66.7% on note donc que le nombre de bonnes réponses a doublé, le facteur est alors de 2. On constate une amélioration pour chacune des questions.

Les questions 1 à 24 qui portaient sur l'identification qualitative de la température, de la pression et sur l'état liquide ou gazeux du réfrigérant démontrent, par le pré-test, la faible connaissance qu'ont les étudiants sur ces facteurs. Les questions 13, 19, 21 et 22 ont eu un taux d'échec particulièrement élevé. Nous pourrions supposer qu'il existe une difficulté de compréhension au niveau du détendeur puisque celui-ci n'a qu'une fonction secondaire, non évidente, dans le cycle de réfrigération. On constate cependant un taux d'augmentation assez élevé pour ces mêmes questions dans le post-test. Les questions 2 et 15 ont été répondues correctement par tous les participants. Les questions 5, 6 ont été réussies par 11 étudiants sur 12 soit par 92% des étudiants. Les questions 3, 8, 9 ont été réussies par 10 des 12 élèves soit par 83%. Les questions ayant un taux de réussite plus faible au post-test, soit moins de 50%, sont les numéros 10, 16 et 19. Nous ne pouvons déterminer avec certitude la cause de cette faible réussite. Cependant nous croyons que plusieurs facteurs peuvent en être la cause. Parmi ces facteurs pouvant améliorer la compréhension de ces éléments, le temps que chaque étudiant disposait pour son laboratoire, nous semble important. Nous croyons qu'il serait nécessaire que l'étudiant puisse utiliser le système laboratoire à plusieurs reprises et que chaque laboratoire devrait être orienté par un objectif précis. De plus il serait sûrement très utile que le laboratoire soit suivi d'un cours théorique sur le cycle de réfrigération et sur le rôle de chaque composant du système de manière à consolider et à permettre une intégration des

connaissances. Ce cours théorique post laboratoire utilisera encore le laboratoire en sollicitant l'étudiant pour expérimenter afin de découvrir lui même la réponse. Notons que les étudiants ayant effectué la mise à l'essai n'ont eu aucune explication théorique sur le sujet.

Les questions 25 à 32 portant sur la qualité du transfert que l'étudiant utilise pour prédire l'effet de la variation d'un paramètre sur les autres ont été très faibles lors du pré-test. On constate que les résultats varient entre 0 et 41.7%. Par contre les résultats du post-test sont plus significatifs. En effet, on note une très forte augmentation des résultats, ces derniers passant à des pourcentages variant entre 75 et 91.7. Nous pouvons penser que les objectifs visés par ces questions ont été atteints.

Les questions 33 et 34 qui étaient des questions synthèses impliquant plus d'une variable ont eu un résultat de 0% lors du pré-test. Le post-test nous démontre une augmentation des résultats puisqu'ils passent à 25% pour chacune de ces questions. Ces dernières étant des questions synthèses offraient un niveau de difficulté supérieur. Nous pensons que les performances des étudiants vis-à-vis ce type de question pourraient s'améliorer en augmentant le temps de travail et la diversité des expériences. De plus, nous n'avons pas exploité ce laboratoire en résolution de pannes où l'élève aurait dû pratiquer le diagnostique et corriger des pannes, c'est-à-dire prédire à partir des graphiques, des états du réfrigérant et du fonctionnement général de celui-ci, le problème de disfonctionnement. Il pourrait aussi corriger le problème et vérifier l'adéquation de cette correction de façon symbolique et réelle. Toutes ces activités devraient lui permettre de mieux intégrer le fonctionnement normal du système ainsi que son disfonctionnement.

Numéro de la question	Pré-test %	Post-test %	Facteur d'augmentation
1	33.3	66.7	2
2	41.7	100	2.4
3	33.3	83.3	2.5
4	41.7	75	1.8
5	41.7	91.7	2.2
6	41.7	91.7	2.2
7	33.3	50	1.5
8	25	83.3	3.3
9	25	83.3	3.3
10	16.7	41.7	2.5
11	50	66.7	1.3
12	25	58.3	2.3
13	0	58.3	∞
14	25	75	3
15	33.3	100	3
16	25	33.3	1.3
17	16.7	66.7	4
18	50	75	1.5
19	8.3	25	3
20	25	75	3
21	0	50	∞
22	8.3	50	6
23	33.3	58.3	1.8
24	25	66.7	2.7
25	33.3	91.7	2.8
26	33.3	91.7	2.8
27	41.7	83.3	2
28	33.3	83.3	2.5
29	41.7	83.3	2
30	8.3	75	9
31	0	91.7	∞
32	8.3	75	9
33	0	25	∞
34	0	25	∞

Tableau 5

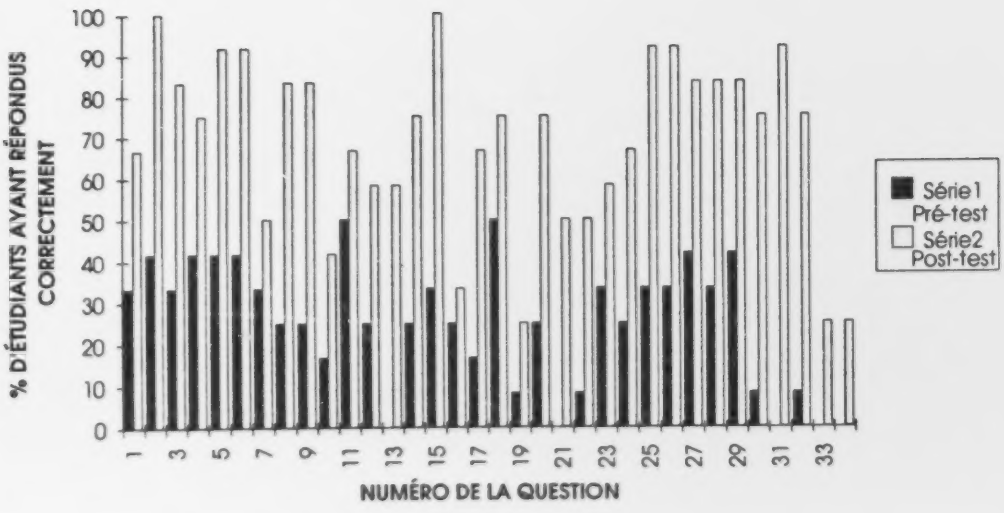
Pourcentage d'étudiants ayant réussi

chacune des questions

Nous avons présenté sous forme graphique (graphique 2) les résultats pour chaque question du pré-test et du post-test. Ce dernier permet, d'un coup d'oeil, de constater l'amélioration des performances des étudiants.

Les questions utilisées pour les tests se retrouvent à l'annexe 3.

GRAPHIQUE 2



CONCLUSION

Cette recherche a porté sur la conception et la réalisation d'un modèle d'environnement pédagogique informatisé pour l'enseignement et l'apprentissage de concepts technologiques complexes.

Plus spécifiquement, cette recherche a permis de créer, construire et mettre à l'essai un laboratoire informatisé pour l'étude des systèmes complexes non "visualisables". Nous avons choisi pour cette application un système de réfrigération qui est un exemple type de système non "visualisable".

Le prototype ainsi réalisé permet l'étude d'un système de réfrigération qui inclue des outils didactiques d'apprentissage pour en faciliter l'analyse et la compréhension. Par ses fonctions graphiques, l'ordinateur fait le lien entre le système réel, une représentation simplifiée (icônique) et une représentation symbolique (graphique) du phénomène. L'ordinateur contrôle le système en donnant à l'étudiant la possibilité d'en modifier les conditions de fonctionnement. De plus l'ordinateur effectue des acquisitions de données, de manière à présenter les interactions de variables sous forme graphique et icônique.

Les interactions de variables sous forme graphique peuvent être étudiées à l'écran de l'ordinateur en temps réel ou imprimées pour une analyse plus détaillée après l'expérience. Les interactions de variables présentées sous forme d'animations interactives, permettent une "visualisation" de la transformation d'état de liquide en vapeur s'effectuant dans l'évaporateur ainsi que de la transformation de vapeur en liquide s'effectuant dans le condenseur. De plus, par son volet de contrôle de procédé, le système de robotique pédagogique permet le contrôle, par l'étudiant, soit l'arrêt ou le départ de chacune des composantes du système via le clavier de l'ordinateur. Cette possibilité de contrôle permet l'étude des réactions du système lorsque certaines composantes cessent de fonctionner. On peut ainsi provoquer artificiellement des pannes et développer, chez l'étudiant, des aptitudes à la résolution de pannes.

Le modèle d'action que nous avons développé pour l'utilisation de notre environnement informatisé est basé sur une approche qui se veut au point de départ systémique, inductive et qualitative. En effet, l'utilisation de cet environnement informatisé favorise une approche globale du système de réfrigération; il permet d'appréhender le fonctionnement du système dans son ensemble. Par exemple, il ne préconise pas une analyse détaillée de chaque composant individuellement avant l'étude de l'ensemble, mais l'inverse, il favorise l'étude globale du système suivi d'une analyse plus détaillée de ses composants. Son approche inductive favorise l'acquisition des concepts, règles et lois à partir des observations que l'étudiant pourra faire grâce à cet environnement. C'est donc à partir de l'observation que l'étudiant devra induire les principes de fonctionnement du système. De plus, nous encourageons l'étudiant à aborder l'étude du système de réfrigération de manière qualitative; nous pensons qu'il est préférable qu'il appréhende la réalité qualitativement, sans avoir dans un premier temps, à se soucier de la valeur précise des variables. Nous soutenons qu'il est préférable pour l'étudiant que la première représentation mentale du système qu'il se construit, soit globale et qualitative. Par la suite seulement, il pourra compléter cette représentation par des informations quantitatives. Par contre, avant de passer à cette étape, nous avons pris soin dès la première étape d'appréhension, de l'aider à observer et à se représenter l'interaction des variables sous forme graphique.

La mise à l'essai fonctionnelle de notre prototype d'environnement nous a permis de vérifier, au moyen d'un test simulant toutes les conditions possibles d'exploitation, que le prototype mis au point remplit bien toutes les opérations qui lui sont assignées et que toutes ses fonctions sont assez aisément accessibles et exploitables par d'éventuels utilisateurs. Nous avons à cette occasion, demandé à des experts en réfrigération de faire toutes les utilisations possibles pour s'assurer que le prototype ne comporte pas de faille et qu'il est protégé contre des utilisations incohérentes.

La mise à l'essai empirique de notre prototype d'environnement nous a permis de le mettre en fonction dans une classe en vue d'en parfaire sa conception et de l'intégrer au fonctionnement régulier de la classe. La méthodologie utilisée pour cette mise à l'essai est basée sur une méthodologie de résolution de problème. Les étudiants ont d'abord été mis en face d'un problème, soit l'incapacité à répondre correctement à des questions sur le système de réfrigération. Par la suite

nous leur avons fourni l'opportunité d'exécuter les observations et recherches nécessaires pour répondre à ces questions. Nous avons évalué les connaissances acquises par l'utilisation du système laboratoire en comparant les réponses aux questions avant et après le laboratoire. Nous avons donc préalablement évalué les connaissances de base des étudiants par un test (pré-test), puis, suite à l'expérimentation nous avons, à nouveau, évalué les connaissances des principes de fonctionnement du système de réfrigération qu'ont acquis les étudiants. De plus, nous avons à cette occasion recueilli par l'observation et l'entrevue auprès des utilisateurs étudiants les questions, commentaires et suggestions qu'a suscité l'utilisation de notre prototype d'environnement. Nous avons ensuite analysé ce matériel.

L'adéquation des résultats obtenus avec les résultats attendus nous semble satisfaisante. En effet, nous désirions, dans un premier temps, que l'étudiant soit capable de décrire les interactions entre différentes variables comme la température, la pression et l'état du réfrigérant aux principaux points du système. Nous constatons, à l'observation des résultats des questions qui se rapportent spécifiquement à ce sujet, que tous les élèves, à des degrés différents, ont été capables, sans une étude formelle de la réfrigération, par la simple manipulation du prototype et observation du comportement de celui-ci (observation du système de réfrigération réel avec observation simultanée des représentations icôniques et graphiques des interactions des variables du système) de se faire une représentation des variables en différents points du système et de comprendre ainsi son fonctionnement.

Transférabilité de la recherche

Il s'agit simplement de s'interroger sur la possibilité de transposer à un contexte plus général, les constatations ou les résultats recueillis dans le contexte local, ici de la réfrigération. Nous pensons qu'un tel environnement informatisé pourrait être utilisé pour l'apprentissage de tout autre phénomène technologique comportant un aspect non "visualisable". Plusieurs spécialités techniques, telles que la mécanique et l'électronique nécessitent l'apprentissage de phénomènes complexes et non "visualisables". Nous sommes convaincus que l'environnement informatisé que nous avons développé pourrait devenir une aide pédagogique très valable pour l'apprentissage d'une multitude de phénomènes physiques non "visualisables".

Piste de recherche

Les résultats de cette recherche nous permettent de penser que cet environnement informatisé provoque un apprentissage important chez les étudiants. Il serait alors intéressant de poursuivre la démarche dans une autre recherche qui validerait plus formellement et quantitativement son influence sur l'apprentissage. Seule une mise à l'essai systématique permettrait de confirmer nos prédictions sur le rôle que joue cet environnement dans la démarche d'apprentissage d'un étudiant et principalement sur les bénéfices d'une approche centrée sur la découverte des interactions de variables à partir de l'expérimentation directe du système technologique, avec "visualisation" simultanée de celle-ci sous forme icônique et symbolique, plutôt qu'à partir de l'approche traditionnelle qui extrait principalement ces interactions du contexte global et réel comme des objectifs isolés que l'on enseigne à l'élève de manière théorique.

RÉFÉRENCES

Angers, P. et Bouchard, C. (1985). L'activité éducative, une théorie, une pratique, de l'expérience à l'intuition. Montréal: Les éditions Bellarmin.

Astolfi, J.P. et Develay, M. (1989). La didactique des sciences. Paris: Presse universitaire de France.

ASTER (équipe de recherche). (1985). Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. Paris: Instaprint.

Barbey, G. (1971). L'enseignement assisté par ordinateur. Tournai, Belgique: Edition Casterman.

Baril, D.P. (1987). Existe-t-il des modèles de recherche et de développement pertinents pour le technologue de l'éducation? Si oui, lesquels?. Montréal: Publication interne, Université de Montréal.

Bares, P. (1983). Niveau Conceptuel et apprentissage. Saint-Jérome: Cégep de Saint-Jérome.

Berbaum, J. (1982). Apprentissage et formation. Paris: Presse universitaire de France.

Bordeleau, P. (1988). Portrait des applications pédagogiques de l'ordinateur au Canada francophone. Montréal: Centre québécois de recherche sur les applications pédagogiques de l'ordinateur.

Borg, W.R. et Gall, M.D. (1981). Appling educational research a pratical guide for teachers. New-York: Longman.

Borg, W.R. et Gall, M.D. (1983). Educational research an introduction. New-York: Longman.

Borg, W.R. et Kelley, M.L., Langer, P., Gall, M. (1970). The mini course a microteaching approch to teacher education An exemple of educational R & D. Beverly Hills: Collier-Macmillan.

Boulet, A. et Villeneuve, R. (1983). Ordinateur et éducation. Hull: Production Formapec.

Boulet A. (1984). L'ordinateur, moyen d'enseignement. Hull: Production Formapec.

Bouysset, C. et Durey, A., Lagoutte, R., Sourdillt, F. (1984). Utilisation des acquisitions de données avec micro-ordinateur en travaux pratiques de physique, dans Recherche en didactique de la physique: les actes du premier atelier international. Paris: Édition du Centre National de Recherche Scientifique.

Brien, R. (1981). Design pédagogique, Introduction à l'approche de Gagné et de Briggs. Sainte-Foy, Qc.: Les éditions Saint-Yves inc.

Brien, R. (1991). Science cognitive et formation. Sillery, Qc.: Presse de l'université du Québec.

Bruner, J.S. et Cronbach, L.J., Davis, R.B., Gagné, R.M., Glaser, R., Hawkins, D., Kagan, J., Keislar, E.R., Kendler, H.H., Morrisett, L.N., Shulman, L.S., Wittrock, M.C., (1973). La pédagogie par la découverte. Paris: Les éditions ESF.

Bryan, L.A. et Bryan, E.A. (1987). Programmable controllers, Selected applications. Atlanta: Industrial Text Co.

Bryan, L.A. et Bryan, E.A., (1988). Programmable controllers, Workbook and study guide. Atlanta: Industrial Text Co.

Bryan, L.A. et Bryan, E.A. (1988). Programmable controllers, Theory and implementation. Atlanta: Industrial Text Co.

Caillot, M. et Dumas-Carré, A. (1985). Activités cognitives et connaissances nécessaires à la résolution de problèmes: un exemple en physique, dans Cognitiva 85. Paris: Cesta.

Canac, H. (1965). Les instruments d'une pédagogie moderne: le document, l'image, l'audio-visuel, dans Psychopédagogie des moyens audio-visuels dans l'enseignement du premier degré. Paris: UNESCO.

Canonge, F. et Ducel, R. (1969). La pédagogie devant le progrès technique. Paris: Presses universitaires de France.

Cartier, M. (1989), L'utilisation de codes visuels interactifs à l'écran. Ottawa: Ministère des communication du Canada.

Charbonneau, B. et Chevrier, J., Inostroza, J.C., Villeneuve, R. (1984). L'ordinateur, outil de gestion pédagogique d'une classe. Hull: Production Formapec.

Chevrier, J. et Boulet, A., Begin, J. (1985). Ordinateur, outil d'apprentissage. Hull: Production Formapec.

Clarke, E. (1968). How to prepare effective engineering proposals. River Forest, Illinois: TW Publishers.

Cloutier, J. (1973). La communication audio-scripto-visuelle à l'heure des self-média. Montréal: Les presses de l'université de Montréal.

Contandriopoulos, A.P. et Champagne, F., Potvin, L., Denis, J.L., Boyle, P. (1990). Savoir prérarer une recherche, La définir, la structurer, la financer. Montréal: Les presses de l'université de Montréal.

Coté, R.L. (1987). Psychologie de l'apprentissage et enseignement Une approche modulaire d'autoformation. Montréal: Gaétan Morin éditeur.

Deforge, Y. (1970). L'éducation technologique. Tournai, Belgique: Casterman.

De Landsheere, G. (1972). Introduction à la recherche en éducation. Paris: Armand Colin-Bourrelier.

Denis, M. (1975). Représentation imagée et activité de mémorisatio. Paris: édition du C.N.R.S.

Denis, M. (1982). Représentation imagée et résolution de problèmes, dans Revue française de pédagogie. no.60, pp19-29.

Denis, M. (1984). Image et langage dans la psychologie cognitive. Communication information Vol.VI No.2-3 pp.141-174.

Denis, M. (1989). Image et cognition. Paris: Presse universitaire de France.

De Rosnay, J. (1975). Le macroscope: vers une vision globale. Paris: Éditions du Seuil.

Désilet, M. et Paradis, F., Tardif, J., Lachiver, G. (1991). Un modèle pédagogique pour l'enseignement professionnel, dans La didactique des sciences appliquées en enseignement technique et professionnel. Sherbrooke: Université de Sherbrooke.

Desautels, P. (1985). Piago ou le développement de l'intuition de phénomènes physiques grâce aux simulations interactives, Rosemont, Qc: Collège de Rosemont.

Dumas-Carré, A. et Caillot, M. (1988). Résolution de problèmes et apprentissage de la physique, dans Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. Acte du Colloque de Sèvre. Sévre: Greco Didactique et CNRS editeurs.

Demers, B. (1982). La méthode scientifique en psychologie. Montréal: Décarie éditeur.

Desrosiers-Sabbath, R. (1984). Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement. Québec: Presse de l'université du Québec.

Faucher, G. (1984). Résolution de problèmes en enseignement individualisé, dans Recherche en didactique de la physique: les actes du premier atelier international. Paris: Édition du Centre National de Recherche Scientifique.

Fortier, G. (1989). Ordinateur, enseignement et apprentissage. Montréal: Les éditions Logiques.

Fortin, C. et Rousseau, R. (1989). Psychologie cognitive, Une approche de traitement de l'information. Silery, Qc: Presse de l'université du Québec.

Frydman, M. et Allegaert, J. (1986). S'autoformer dans l'enseignement technique et professionnel La préparation de l'élève à l'autoformation. Bruxelles: Edition Labor.

Gagné, R.M. (1976). Les principes fondamentaux de l'apprentissage, application à l'enseignement. Montréal: Edition HRW.

Gariépy, F. et al. (1992). Processus d'innovation. Montréal: Document de travail interne, Centre de recherche industrielle du Québec.

Giordian, A. (1978). Une pédagogie pour les sciences expérimentales. Paris: Paidoguide.

Giordian, A. (1983). L'élève et/ou les connaissances scientifiques. Berne, Suisse: Peter Lang.

Giordan, A. (1989). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique, dans Construction des savoirs Obstacles et conflits, Colloque international obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif. Montréal: Les éditions Agence d'ARC.

Giordan, A. et ali, (1987). L'élève et/ou les connaissances scientifiques, approche didactique de la construction des concepts scientifiques par l'élève. Berne: Peter Lang éditeur.

Giordan, A. et De Vecchi, G. (1987). Les origines du savoir, des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Neuchatel, Suisse: Delachaux et Niestlé éditeurs.

Giordan, A. et De Vecchi, G. (1988). L'enseignement scientifique: comment faire pour que "ça marche"?. Nice: Z'édition.

Goustard, M. et Gréco, P., Malaton, B., Piaget, J. (1959). La logique des apprentissages. Paris: Presses universitaires de France.

Gravel, L. et Gradel, D., Hudon, R. (1989). Rapport de recherche: Logiciels en mécanique du bâtiment, Montréal: Direction générale de l'enseignement collégial.

Hawkins, D. et Kagan, J., Keislar, E.R., Kendler, H.H., Morrisett, L.N., Shulman, L.S., Wittrock, M.C. (1973). La pédagogie par la découverte, Paris: Les éditions ESF.

Herman, G. (1992). L'enseignement et l'apprentissage: un cadre conceptuel. Rimouski: Cégep de Rimouski.

Hoc, J.M. (1987). Psychologie cognitive de la planification. Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.

IBM, Engineering and scientific application programs available from non-IBM sources, Pennsauken, NJ: Auerbach Publishers inc.

Jacquinot, G. (1977). Image et pédagogie. Paris: Presse de l'Université de France.

Jacobi, D. (1987). Textes et images de la vulgarisation scientifique. Berne: Peter Lang.

Johsua, S. et Dupin, J.J. (1989). Représentation et modélisation: le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique. Berne: Éditions Peter Lang.

Joyce, B. et Weil, M. (1986). Model of teaching, New Jersey: Prentice Hall.

Kourganoff, V. (1964). La recherche scientifique. Paris: Presse universitaire de France.

Larivée, S. et Cormier, P. (1982). Le schème de contrôle des variables, dans SPECTRE: buletin pédagogique de l'Association des professeurs de sciences du Québec. V.2 no 1, 2.

Larochelle, M. et Désautels, J. (1992). Autour de l'idée de science itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes. Sainte-Foy, Qc: Les presses de l'université Laval.

Labonté, T. (1982). Psychologie du développement et enseignement des sciences à l'école secondaire et au collège, Synthèse de recherche. Québec: Gouvernement du Québec.

Lazerges, G. (1964) L'enseignement des sciences physiques dans le second degré. Paris: Institut pédagogique national.

Lebrun, N. et Berthelot, S. (1991). Design de systèmes d'enseignement. Montréal: Éditions Agence d'ARC.

Legendre-Bergeron, M.F. (1980). Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget. Montréal: Gaétan Morin éditeur.

Legendre, R. (1988). Dictionnaire actuel de l'éducation. Montréal: Larousse.

Lemire, D. (1990). La robotique pédagogique au Québec: bilan. Montréal: Centre québécois de recherche sur les applications pédagogiques de l'ordinateur.

Léon, A. (1968). Histoire de l'éducation technique. Paris: Presses universitaires de France.

Letendre, A. (1985). Les systèmes experts. Montréal: Bureau de l'innovation industrielle, Ministère de l'expansion industrielle.

Le Touzé, J.C. et Beaufils, D. (1991). Quelques remarques pédagogiques et didactiques à propos d'un dispositif informatisé de prise de données, dans Robotique pédagogique Les actes du II[e] congrès international. Montréal: Pierre Nonnon et Martial Vivet.

Lindsay, P.H. et Norman, D.A. (1980). Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie. Montréal: Éditions études vivantes.

Locas, C. (1972). Analyse du concept de recherche-développement. Québec: Document de travail, Ministère de l'éducation.

Loiselle, J. et Durand, J. (1985). L'utilisation de la simulation par ordinateur pour l'enseignement de la physique. Trois-Rivières: C.S. des Vieilles-Forges.

Loiselle, J. (1987). La simulation assistée par ordinateur pour l'enseignement de la physique. Montréal: Thèse inédite, Université de Montréal.

Loisier, J. (1989). Proposition d'une axiomatique des médias appropriés à l'éducation. Montréal: Thèse inédite, Université de Montréal.

Martinand, J.L. (1986). Connaître et transformer la matière Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques. Berne: Peter Lang.

M.E.Q. (1989). Banque Québécoise, catalogue des logiciels éducatifs évalués. Québec: Services documentaires Multimédia inc.

Michel, D. (1975). Représentation imagée et activité de mémorisation. Paris: Édition du centre national de la recherche scientifique.

Michel, G. (1988). Les A.P.I. Architecture et applications des automates programmables industriels. Paris: Dunod.

Morf, A. et Smedslund, J., Vinh-Bang, W., Joachim, F. (1959). L'apprentissage des structures logiques. Paris: Presses universitaires de France.

Nieto, J. (1989). Développement d'un système de robotique pédagogique pour l'étude expérimentale du mouvement oscillatoire. Montréal: Mémoire inédit, Université de Montréal.

Nonnon, P. et Laurencelle, L. (1972). Bulletin de psychologie. Montréal: Louis Laurencelle, UQAM.

Nonnon, P. et Laurencelle, L. (1984). L'appariteur-robot et la pédagogie des disciplines expérimentales. Montréal: Spectre.

Nonnon, P. (1986). Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur. Montréal: Université de Montréal, Publication du Vice-Décanat à la recherche.

Nonnon, P. (1987). Acquisition d'un langage graphique de codage par la modélisation en temps réel de donnés d'expériences, dans Psychology of mathematics education, PME-X1, Proceeding of the eleventh international conference, Montréal.

Nonnon, P. (1993). Cognitive Spectacle, dans Controle technology in elementary education, Serie F: Computer and Systems Sciences Vol. 116. Berlin: Brigitte Denis, NATO ASI Springer-Verlag.

Nonnon, P. (1993). Proposition d'un modèle de recherche développement technologique en éducation, dans Regard sur la robotique pédagogique, Acte du quatrième colloque international sur la robotique pédagogique. Liège: Université de Liège.

Nonnon, P. et Johnson, C. (1993). A data acquisition system inlearning environment, dans Controle technology in elementary education, Serie F: Computer and Systems Sciences Vol. 116. Berlin: Brigitte Denis, NATO ASI Springer-Verlag.

Ouellet, A. (1987). Processus de recherche Une approche systémique. Sillery, Qc.: Presse de l'université du Québec.

Paivio, A. (1979). The empirical case for dual coding in imagery, cognition and memory. Hillsdale, N.J.: Erbaumm.

Paquette, G. (1989). L'intelligence artificielle, comprendre et prolonger l'intelligence humaine. Montréal: Guide d'utilisation des logiciels, Télé-université.

Pelchat, R. (1989). La robotique pédagogique au primaire, dans Le Bus. Montréal: AQUOPS.

Perron, L. (1987). Brève explication du modèle de développement des EDIPO. Montréal: Document de travail interne, APO Québec.

Piaget, J. (1969). Psychologie et pédagogie. Paris: Édition Denoel.

Piaget, J. (1970). La formation du concept chez l'enfant. Neuchatel: Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1980). L'image mentale chez l'enfant. Paris: Presses universitaires de France.

Pintrich, P.R. et Stemmer, P.M., Berger, C.F., Goodman, F.L., Kozma, R.B., Saunders, E.W. (1984). An interactive research and developement model for educational applications of technology. Educational Technology, December 1984, 24, (no.12) 7-11.

Postic, M. (1971). Introduction à la pédagogie des enseignements techniques. Paris: Les éditions Foucher.

Preston, L. (1987). L'intelligence artificielle. Amsterdam: Edition Time-Life.

Prince, D. (1990). Guide de présentation des rapports, mémoires et thèse en psychologie. Montréal: Université de Montréal, La librairie de l'université de Montréal.

Rathus, S.A. (1985). Psychologie Générale. Montréal: Les éditions HRW ltée.

Razafindrakoto, E. (1984). La résolution de problèmes de physique dans son lien avec la formation des maîtres, dans Recherche en didactique de la physique: les actes du premier atelier international. Paris: Édition du Centre National de Recherche Scientifique.

Rich, E. (1987). Intelligence artificielle. Paris: Masson.

Richer, F. et Gattuso, M. (1981). Introduction pratique à la méthode expérimentale en psychologie. Montréal: Décarie éditeur.

Rief, F. (1984). Comprendre et enseigner la résolution de problèmes en physique, dans Recherche en didactique de la physique: les actes du premier atelier internationnal. Édition du CNRS.

Risi, M. (1983). La Macroscole - L'enseignement systémique des sciences, Dans Colloque pluridisciplinaire Rapport Les sciences au collégial: Nouveau départ. Sainte-Foy, Qc.: Collège de Sainte-Foy.

Saint-Onge, M. (1983). L'enseignement cognitif Fondements psychologiques. Sorel, Qc.: Cégep de Sorel-Tracy.

Saint-Onge, M. (1990). Moi j'enseigne, mais eux, apprennent-ils?, dans Pédagogie collégiale. Montréal: Association québécoise de pédagogie collégiale.

Scholer, M. (1983). La technologie de l'éducation. Montréal: Presse de l'Université de Montréal.

Shulman, L.S. et Keislar, E.R. (1973). La pédagogie par la découverte. Paris: ESF.

Skinner, B.N. (1968). La révolution scientifique de l'enseignement. Bruxelles: Charles Dessart éditeur.

Smit, F. (1979). La compréhension et l'apprentissage, un cadre de référence pour l'enseignement. Montréal: Les éditions HRW.

Stolovitch, H.D. et La Roque, G. (1983). Introduction à la technologie de l'instruction. Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc.: Edition préfontaine inc.

St-Yves, A. (1982). Psychologie de l'apprentissage-enseignement Une approche individuelle ou de groupe. Sillery, Qc.: Presse de l'université du Québec.

Tardif, J. et Désilet, M. (1991). Une conception cognitive de l'enseignement professionnel, dans La didactique des sciences appliquées en enseignement technique et professionnel. Sherbrooke: Université de Sherbrooke.

Tardif, J. (1992). Pour un enseignement stratégique. L'apport de la psychologie cognitive. Montréal: Logique École.

Tardif, J. et Désilet, M., Paradis, F., Lachiver, G. (1992). Le développement des compétences: cadre conceptuels pour l'enseignement professionnel, dans Pédagogie collégiale. Montréal: Pédagogie collégiale, décembre 1992, vol.6 no.2.

Tardy, M. (1966). Le professeur et les images. Paris: Presse de l'université de France.

Taylor, W. (1976). Les jeux de simulation à l'école. Tournai, Belgique: Edition Casterman.

Thyne, J.M. (1974). Psychologie de l'apprentissage et techniques d'enseignement. Neuchatel, Suisse: Éditions Delachaux et Niestlé.

Torkia-Lagacé, M. (1981). La pensée formelle chez les étudiants de collège 1: objectif ou réalité?. Limoilou, Qc.: Cégep de Limoilou.

Turner, R. (1986). Logique pour l'intelligence artificielle. Paris: Masson.

Vachon, J.C. et Fortin, M., St-Laurent, R., Suquet, M., Vonarburg, J.J., Gagné,P. (1991). Formation à la résolution de problèmes, dans La didactique des sciences appliquées en enseignement technique et professionnel. Sherbrooke: Université de Sherbrooke.

Van der Maren, J.M. (1990). Méthodes de recherche en éducation. Montréal: Notes de cours, Université de Montréal.

Viau, R. et Stolovitch, H.D. (1987). L'impact de l'ordinateur sur l'apprentissage: réalité ou illusion. Montréal: Centre québécois de recherche sur les applications pédagogiques de l'ordinateur.

Vivet, M. (1983). LOGO: un outil pour une formation de base à la robotique, dans Acte du 2e colloque national LOGO. Le Mans: Collection Education, Télématique-Informatique, ETI.

Vivet, M. (1984). Logo: un outil pour une formation de base à la robotique, dans E.T.I. Le Mans: E.T.I. no.3.

Vivet, M. (1988). Ouverture vers d'autres démarches pour utiliser les nouvelles technologies de l'information, dans La formation. Paris: Acte du VIIième congrès de l'EAO.

Wilkinson, A. (1982). Classroom computers and cognitive science, New-York: Academic Press.

Williams, L.V. (1986). Deux cerveaux pour apprendre le droit et le gauche. Paris: Les éditions d'organisation.

ANNEXE 1

PROTOCOLE DE MISE A L'ESSAI EMPIRIQUE

- Les étudiants sont recrutés sur une base volontaire. Ils doivent faire partie du groupe de collège II en technologie de la mécanique du bâtiment et avoir réussi le cours de "thermodynamique appliquée" et de "manipulation du micro-ordinateur".

- Chaque étape de la mise à l'essai se fait sur une base individuelle et dans un même temps. Chaque étudiant sera rencontré individuellement et devra effectuer toutes les étapes de cette mise à l'essai les une à la suite des autres, sans pause ou contact avec l'environnement extérieur.

Étape 1: "Pré-test"

- La mise à l'essai débute par le pré-test. Le responsable fournit une copie du pré-test à l'étudiant qui doit répondre aux questions. Une période maximale de 30 minutes lui est accordée. Aucune documentation ne lui est permise.

Étape 2: "Expérimentation"

- Le responsable explique brièvement le fonctionnement du système laboratoire en présentant rapidement ses diverses fonctions et commandes du logiciel.
- L'étudiant passe ensuite à la mise à l'essai du prototype. La seule consigne qui lui est donnée est alors de tenter de trouver les réponses aux questions qu'il croit ne pas avoir réussi lors du pré-test. L'étudiant pourra disposer d'une période pouvant aller jusqu'à heure et demie pour cette partie.

Étape 3: "Post-test"

- Après cette période ou lorsque l'étudiant considère qu'il a terminé, le responsable lui demande de répondre aux questions du post-test. Une période maximale de 30 minutes lui sera alors accordée. Aucune documentation ne lui est permise.

ANNEXE 2

ENVIRONNEMENT INFORMATISÉ POUR L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA RÉFRIGÉRATION

MISE A L'ESSAI

PAR: ..... DATE.....

1° Quelles sont les connaissances préalables pour un cours de réfrigération permettant de bien comprendre le cycle de réfrigération (Mathématique, physique, chimie, thermodynamique ect)?

2° Quelles sont les connaissances préalables pour bien comprendre le cycle de réfrigération en utilisant cet environnement informatisé; sont elles les mêmes, y en a-t-il plus ou moins, spécifiez?

3° Serait-il indispensable, utile ou inutile d'avoir un document explicatif, un guide écrit, pour bien utiliser ce système?
Pourquoi? Si oui que devrait-il contenir?

4° L'étudiant a-t-il besoin de la présence du professeur pour utiliser ce système? Pourquoi?

5° Comment qualifieriez-vous l'interaction étudiant-système de réfrigération rendue possible par le système?

6° Comment qualifieriez-vous la qualité des graphiques et des informations qu'ils fournissent à l'étudiant?

7° Y aurait-il lieu d'ajouter des dessins, des graphiques?
Lesquels?

8° Est-il facile de se promener à travers le logiciel?
Comment pourrait-on améliorer cet aspect de son utilisation?

9° Y aurait-il lieu d'ajouter un ou des textes à travers l'utilisation du logiciel?
Si oui lesquels?

10° Y aurait-il lieu d'ajouter des informations telles que des mesures de pression, de température ou autre?
Si oui lesquelles et où?

11° Les informations fournies par le logiciel vous semblent-t-elles suffisamment claires pour être bien interprétées par les étudiants?

12° Auriez-vous des suggestions pour de nouvelles fonctions à ajouter au logiciel?

13° Avez-vous remarqué des erreurs, quelle qu'en soit la forme, dans l'utilisation du système? Si oui lesquelles?

14° Croyez-vous que ce système offre plus d'intérêt pour l'atteinte des objectifs pédagogiques qu'un laboratoire conventionnel? (tenant compte que le lab. conventionnel resterait utile pour l'atteinte de certains objectifs de manipulation avec manomètres ordinaires)
Pourquoi?

15° Croyez-vous que l'utilisation de ce système permettrait un enseignement plus individualisé?

16° Croyez-vous que l'utilisation de ce système permettra le développement d'une certaine autonomie chez l'élève?

17° Quels sont les problèmes ou difficultés que vous entrevoyez à l'utilisation de ce système?

18° Quelles solutions proposeriez-vous pour pallier aux problèmes ou difficultés que vous prévoyez?

19° Quelles idées ou suggestions pourriez-vous faire pour améliorer la conception ou l'utilisation de ce système?

ANNEXE 3

RÉFRIGÉRATION

Nom: ..... date:.....

Identifie l'effet de chaque composante d'un système de réfrigération sur la température du réfrigérant, sa pression et son état liquide ou gazeux.

Température: HT = Haute Température
MT = Moyenne Température
(approx. température de la pièce)
BT = Basse Température

Pression: HP = Haute Pression
BP = Basse pression

État: L = Liquide
G = Gazeux

COMPRESSEUR

	TEMPÉRATURE	PRESSION	ÉTAT
ENTRÉE	1)	2)	3)
SORTIE	4)	5)	6)

CONDENSEUR

	TEMPÉRATURE	PRESSION	ÉTAT
ENTRÉE	7)	8)	9)
SORTIE	10)	11)	12)

ÉVAPORATEUR

	TEMPÉRATURE	PRESSION	ÉTAT
ENTRÉE	13)	14)	15)
SORTIE	16)	17)	18)

DÉTENDEUR

	TEMPÉRATURE	PRESSION	ÉTAT
ENTRÉE	19)	20)	21)
SORTIE	22)	23)	24)

25. Quel effet sur la pression provoquera une augmentation de la température au condenseur?

26. Quel effet sur la pression provoquera une augmentation de la température à l'évaporateur?

27. Pour se condenser le réfrigérant dans le condenseur devra absorber ou dissiper de la chaleur?

28. Quel effet sur la pression de l'évaporateur provoquera une diminution de température?

29. Le réfrigérant dans l'évaporateur doit dissiper ou absorber de la chaleur pour s'évaporer?

30. Supposons que le condenseur est obstrué par de la poussière, l'air ne peut plus y circuler, quel effet cette situation provoquera-t-elle sur la température et la pression du réfrigérant?

31. Supposons que le ventilateur du condenseur arrête de fonctionner, l'air ne peut plus y circuler, quel effet cette situation provoquera-t-elle sur la température et la pression du réfrigérant?

32. Supposons que de la glace se soit accumulée sur l'évaporateur, l'air ne peut plus y circuler, quel effet cette situation provoquera-t-elle sur la température et la pression du réfrigérant?

33. Supposons que les conditions font que le réfrigérant dans le condenseur ne puisse plus se condenser, quel en sera l'effet sur le cycle de réfrigération?

34. Supposons que les conditions font que le réfrigérant dans l'évaporateur ne puisse plus s'évaporer, quel en sera l'effet sur le cycle de réfrigération?

ANNEXE 4

Les tableaux 6 et 7 qui suivent représentent la compilation globale des résultats pour chacune des questions pour chaque étudiant. Le tableau 6 illustre les résultats pour le pré-test et le tableau 7 pour le post-test.

La lettre "R" indique que la question a été réussie, la lettre "E" indique qu'elle a été échouée.

Étudiants	Questions																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	E	E	E	E	E	E	E	E	R	E	E	E	E	E	E	E
2	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
3	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
4	R	E	R	E	E	R	R	E	E	R	R	E	E	R	R	R	E	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
5	E	R	E	E	R	E	E	R	E	E	R	E	E	E	R	R	R	E	E	R	E	E	E	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
6	E	R	R	E	R	R	E	R	E	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	E	R	E	E	E	E	R	E	R	E	E	E	E	E
7	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
8	R	R	E	R	R	R	E	E	E	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
9	R	R	E	R	R	R	R	R	R	E	E	R	E	R	R	E	R	R	E	E	E	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E	E	E	E
10	E	E	E	R	E	R	R	E	R	E	E	R	E	R	R	E	E	R	E	R	E	R	E	R	R	E	R	E	R	E	E	R	E	E
11	R	R	R	R	R	E	E	E	R	E	R	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	R	E	R	R	E	E	E	E	E
12	E	E	R	R	E	E	R	E	E	E	R	E	E	E	E	R	R	R	E	E	E	E	E	E	R	R	E	R	R	E	E	E	E	E

Tableau 6
Compilation des résultats de chaque question pour chaque étudiant pour le pré-test

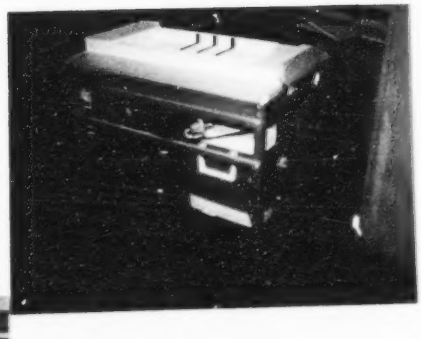
Étudiants	Questions																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	E	R	R	E	R	R	E	R	R	R	R	E	E	R	R	E	R	R	E	E	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E	E
2	E	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	E	R	E	R	R	E	E	E	R	R	R	E	E	R	R	E	R	E	E	E	E	E	E
3	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	E	R	R	R	E	R	E	R	R	E	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E
4	E	R	E	R	R	R	E	R	R	E	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	E	R	E	R	R	R	R	E	R	R	R	E	E
5	E	R	E	E	R	E	R	R	R	E	R	R	E	E	R	E	E	R	E	E	R	E	E	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R
6	E	R	R	R	R	R	E	E	E	E	E	E	E	R	R	E	R	R	E	R	R	E	E	E	E	E	R	E	R	E	R	E	R	E
7	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	E	E	R	E	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
8	R	R	R	E	E	R	R	R	R	E	R	R	E	E	R	E	E	E	E	E	R	E	E	R	R	R	E	R	E	R	R	R	E	E
9	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E
10	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E
11	R	R	R	R	R	R	E	R	R	R	R	R	E	R	R	E	R	R	E	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	R
12	R	R	R	R	R	R	E	E	E	E	E	E	R	R	R	R	R	R	E	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	E	E

Tableau 7
Compilation des résultats de chaque question pour chaque étudiant pour le post-test

ANNEXE 5

Exemples de pages écrans du système

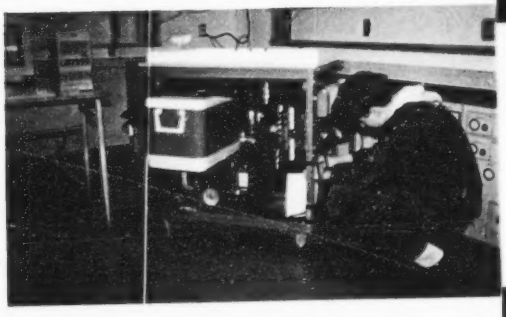
La figure 15 illustre le système réel, on constate que c'est une patinoire avec le système de réfrigération nécessaire à son opération. A la figure 16 on voit un étudiant intervenant directement sur ce même système. Les figures 17 à 22 sont des représentations icôniques du système avec des vues plus détaillées de ses principales composantes. A la figure 19 on voit la patinoire, la 20 nous montre le compresseur, la 21 l'échangeur et la 22 le condenseur. Toutes les informations fournies sur ces pages écrans, telles que les températures et pressions sont interactives, c'est-à-dire qu'elles indiquent des valeurs réelles et en temps réel. Dans les figures 19 et 20 on remarque le dessin d'interrupteurs à boutons poussoirs; l'opération par la souris de ces boutons permet l'arrêt automatique de la composante en question ou sa mise en opération normale sur la position "auto". Les figures 23 et 24 illustrent une forme d'animation en temps réel où la condensation du réfrigérant y est visualisée. On constate que la couleur indiquant le niveau de liquide est modifiée de la figure 23 à la figure 24. Les figures 25 et 26 sont des exemples de graphiques que peut nous fournir le système, on peut voir simultanément l'évolution de la pression et des températures avant et après le condenseur en fonction du temps. Finalement la figure 27 est un tableau compilant dans la même page écran plusieurs valeurs importantes. Ce tableau est également interactif en temps réel. La figure 28 représente un exemple de fiche d'information disponible à l'étudiant sur demande, en cliquant simplement sur le point d'interrogation (?) situé sur la partie visée (voir figure 18).



SYSTÈME RÉEL

Figure 15

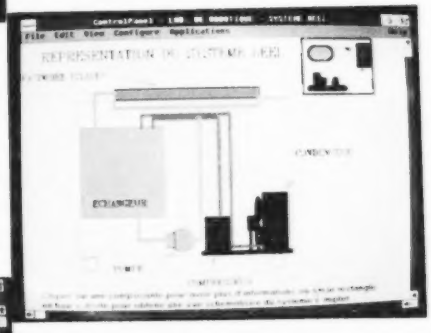
Système de réfrigération (patinoire miniature)



SYSTÈME RÉEL

Figure 16

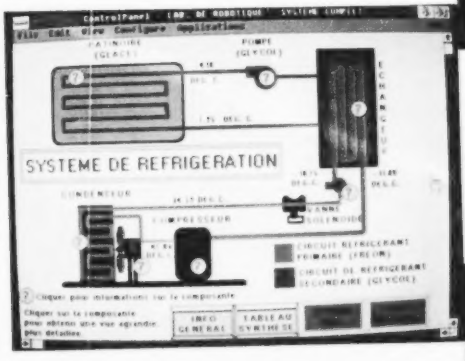
Étudiant intervenant directement sur le système réel



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 17

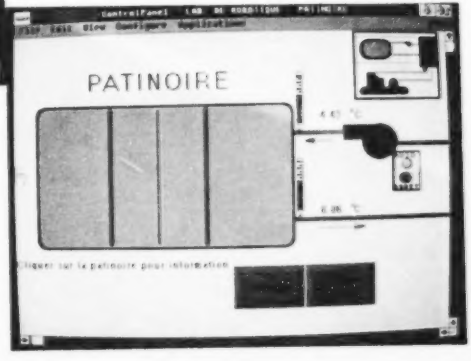
Représentation du système réel



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 1 8

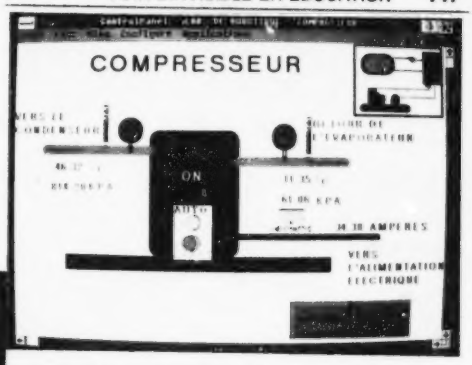
Représentation du système complet



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 19

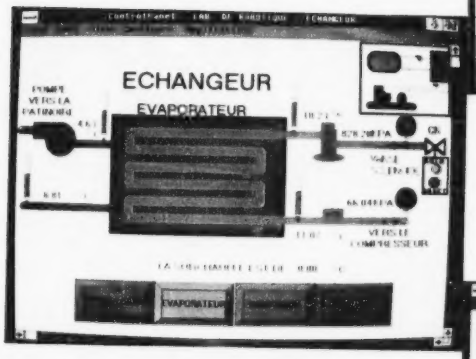
Illustration de la patinoire



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 20

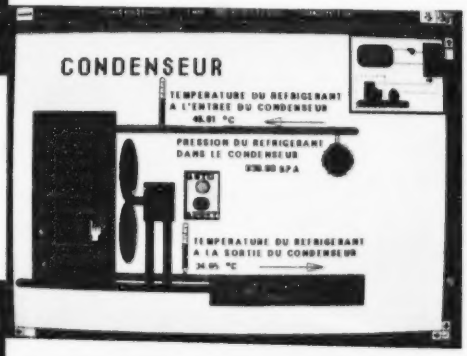
Représentation du compresseur



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 21

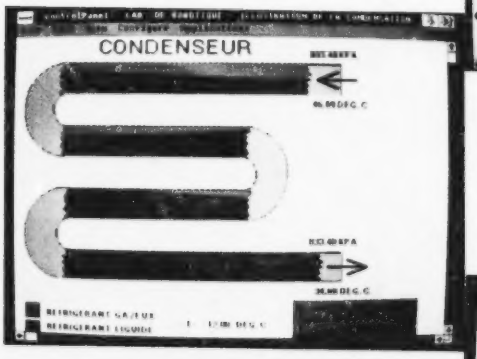
Représentation de l'échangeur



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

Figure 22

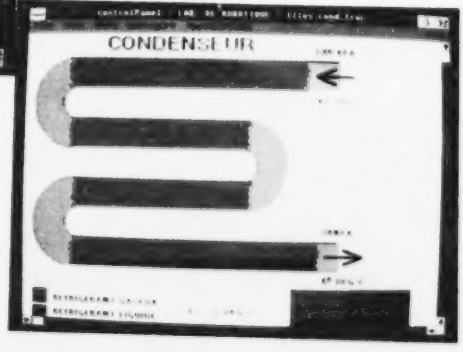
Représentation du condenseur



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE ANIMÉE

Figure 23

Illustration du condenseur et de son niveaude liquide



REPRÉSENTATION ICÔNIQUE

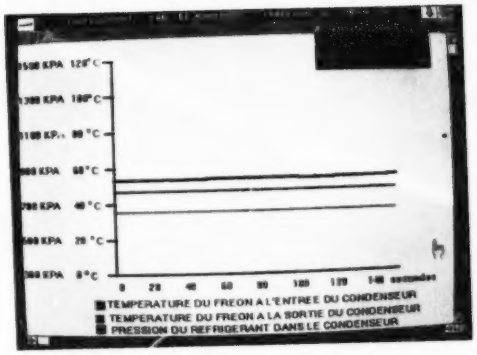
Figure 24

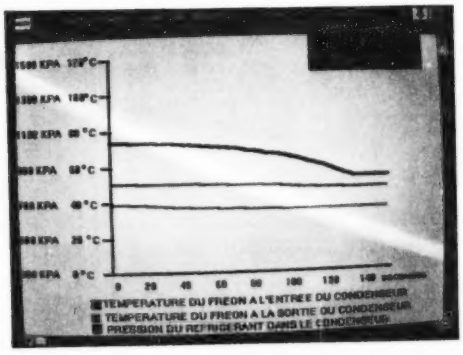
Illustration du condenseur avec un niveau de liquide plus bas

REPRÉSENTATION SYMBOLIQUE (GRAPHIQUE)

Figure 25

Graphique illustrant une situation de température et pression constantes





REPRÉSENTATION SYMBOLIQUE (GRAPHIQUE)

Figure 26

Graphique illustrant une modification des paramètres

TABLEAU ET COMMENTAIRE

Figure 27

Tableau synthèse de valeurs en temps réel

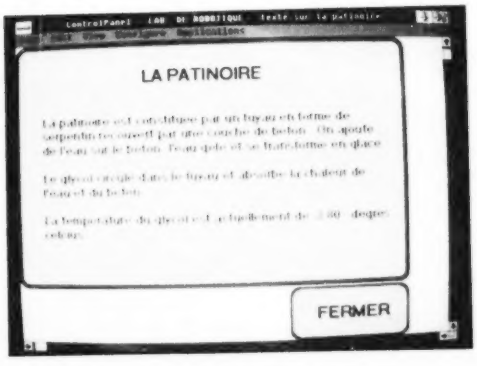


TABLEAU ET COMMENTAIRE

Figure 28

Exemple de commentaire disponible sur demande